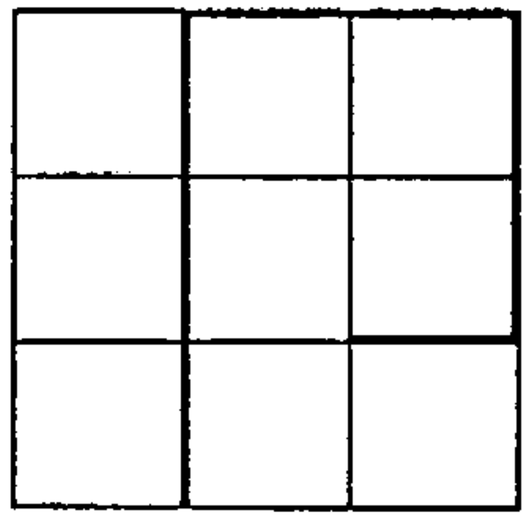


MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

PHL
08801

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

2006

E

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

Convênio CNEN/DNPM/CPRM

LEVANTAMENTO GAMA-ESPECTROMÉTRICO E MAGNETOMÉTRICO

NA

ÁREA DO PROJETO ALTO GARÇAS

NOS

ESTADOS DE GOIÁS E MATO GROSSO

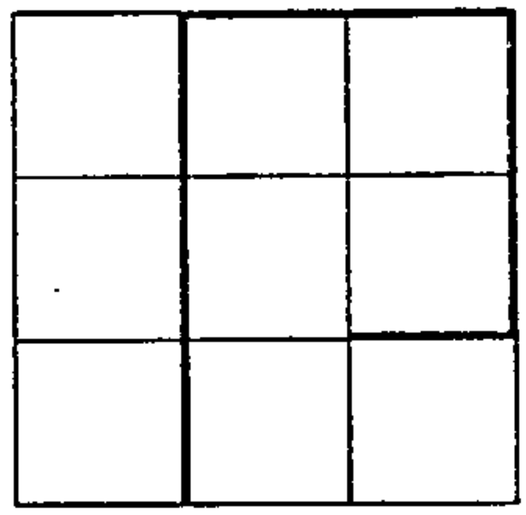
CPRM I 96 SUREMI SEDOTE
ARQUIVO TÉCNICO
Relatório n.º 384-S
N.º de Volumes: 1/1 ANEXO V.: 1
OSTENSIVO

Prospec S.A.

março de 1972

ÍNDICE

		Página
I.	APRESENTAÇÃO	1
	1.1 - ESTATÍSTICAS	1
	1.2 - COOPERAÇÃO TÉCNICA	2
	1.3 - RESPONSABILIDADE	2
	1.4 - AGRADECIMENTOS	2
II.	INTRODUÇÃO	5
	2.1 - INTRODUÇÃO	5
	2.2 - ÁREA DO PROJETO	5
	2.3 - GEOLOGIA DA ÁREA DO PROJETO	7
	2.4 - OBJETIVO DO LEVANTAMENTO AEROGEOFSICO	10
III.	O LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO	12
	3.1 - MOSAICO BÁSICO	13
	3.2 - PLANO, ALTURA E TRAÇO DOS VÔOS	14
	3.3 - INSTRUMENTAL DO AVIÃO DO LEVANTAMENTO	15
	3.4 - PESSOAL DO LEVANTAMENTO NO CAMPO	16
	3.5 - PRODUÇÃO	17
	3.6 - OPERAÇÕES COM O ESPECTRÔMETRO	18
IV.	PROCESSAMENTO E COMPILAÇÃO DOS DADOS DO LEVANTAMENTO	21
	4.1 - MAPAS DE TRAÇOS DOS VÔOS	21
	4.2 - PROCESSAMENTO E REDUÇÃO DOS DADOS DO ESPECTRÔMETRO	22
	4.3 - PROCESSAMENTO E COMPILAÇÃO DOS DADOS AEROMAGNÉTICOS	23
V.	ANÁLISE DOS DADOS GEOFÍSICOS	26
	5.1 - ESTATÍSTICAS GEOMAGNÉTICAS	26
	5.2 - ANÁLISE DAS ANOMALIAS MAGNÉTICAS	28
	5.3 - INTERPRETAÇÃO ESTRUTURAL E UNIDADES MAGNÉTICAS	30
	5.4 - ANÁLISE DOS DADOS DO ESPECTRÔMETRO	31



Página

— VI. INTERPRETAÇÃO 34

6.1 - FOLHA 1 38

Interpretação Magnética: Unidades Magnéticas e Estrutura 38

Interpretação Radiométrica 45

6.2 - FOLHA 2 47

Interpretação Magnética, Unidades Magnéticas e Estrutura 47

Interpretação Radiométrica 51

6.3 - FOLHA 3 53

Interpretação Magnética: Unidades Magnéticas e Estrutura 53

Interpretação Radiométrica 56

6.4 - FOLHA 4 57

Interpretação Magnética: Unidades Magnéticas e Estrutura 57

Interpretação Radiométrica 60

6.5 - ANÁLISE DETALHADA DOS DADOS MAGNÉTICOS 63

6.6 - DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES 64

VII. REFERÊNCIAS 75

ANEXO A - DESCRIÇÃO DO INSTRUMENTAL DO AVIÃO

A.1- SISTEMA ESPECTROMÉTRICO E UNIDADES DE REGISTRO A.1

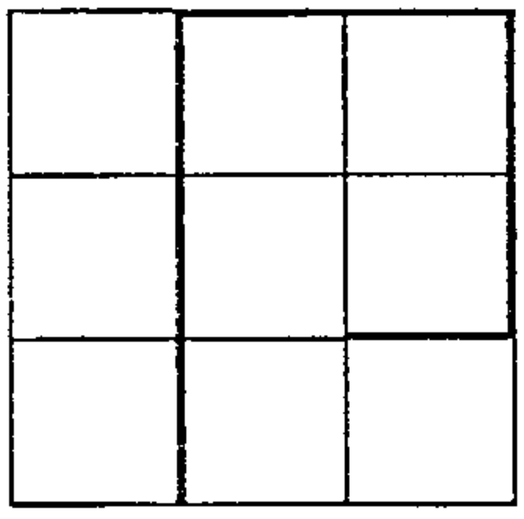
A.2- AEROMAGNETÔMETRO GULF MARK III A.4

A.3- MONITOR DE TEMPESTADES MARK I A.5

A.4- CÂMARA DE POSIÇÃO OU RASTREO, MODELO CARL MARK 7 A.5

A.5- O SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DOPPLER MARCONI 623 A.6

LISTA DE FIGURAS



— INSERIDAS NO TEXTO :

Página

Fig. 1 - Área do Projeto Alto Garças - Mapa de Situação 5

Fig. 2 - Área do Projeto - Índice das Folhas-1:100.000 14

Fig.2A - Área do Projeto-Índice das Folhas - 1:50.000 13

Fig. 3 - Seção Geológica Esquemática 7

Fig. 5 - Vistas Externa e Interna do Avião Aero Commander PT-DWN, equipado para Vôos Geofísicos. Jataí/1971 15

Fig. 6 - Perfil Gama-Espectrométrico Típico 16

Fig. 7 - Perfil Aeromagnético Típico 16

Fig. 8 - Registro do Magnetômetro de Terra 16

Fig. 9 - Produção de Vôo 17

Fig.10 - Testes de Sensibilidade do Espectrômetro 18

Fig.11 - Testes de Supressão de Radiação 19

Fig.12 - Atenuação da Contagem Total 20

Fig.13 - Prova da Correção do Efeito da Variação da Altura de Vôo 20

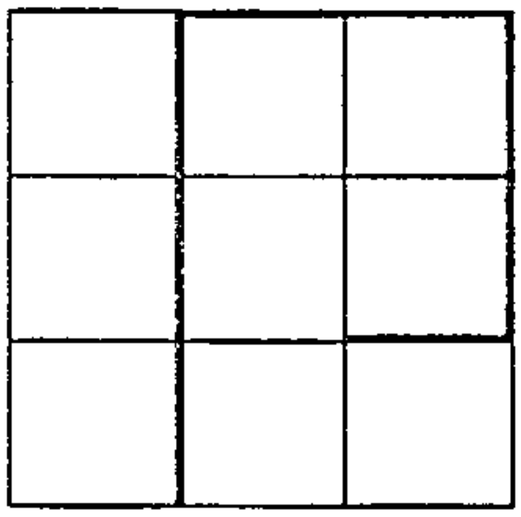
Fig.14 - Miniatura de Mapa de Traços dos Vôos 21

Fig.15 - Equipamento de Digitalização 22

Fig.16 - Diagramas de Anomalias Magnéticas Sintéticas 29

Fig.21 - Exemplo de Correlação Radiométrica/Geológica 45

Fig.23 - Síntese Geológica da Interpretação Geofísica 65



— SEPARADAS
EM CAIXA :

Fig. 4 - Mapa Geológico da Área do Projeto Alto Garças - 1:250.000 (o)

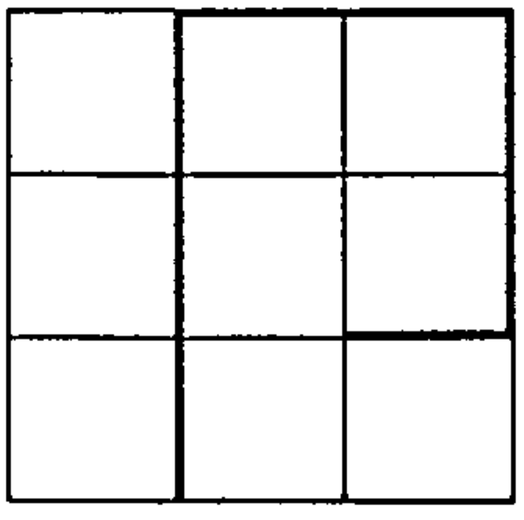
Fig.17 - Mapas de Interpretação Magnética - 1:100.000 (o)

Fig.18 - Mapa de Interpretação Magnética - 1:250.000 (o)

Fig.19 - Mapas de Interpretação Radiométrica-1:100.000

Fig.20 - Mapa de Interpretação Radiométrica- 1:250.000

Fig.22 - Mapa da Componente Magnética Regional-1:250.000



I. APRESENTAÇÃO

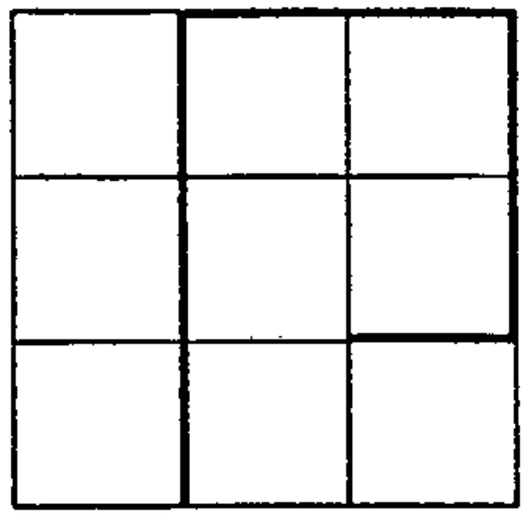
Este relatório descreve as operações, os equipamentos e os resultados que caracterizam o PROJETO ALTO GARÇAS, um levantamento que abrangeu uma área com aproximadamente ... 30.000 km2, no sudoeste do Estado de Goiás e sul do Estado de Mato Grosso, executado para a Comissão Nacional de Energia Nuclear e o Departamento Nacional da Produção Mineral, contratado com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais; e cujo desempenho foi confiado a PROSPEC S.A. - Geologia, Prospecções e Aerofotogrametria.

1.1 - Estatísticas

Os contratos nºs. 113 e 114/DA/71 foram assinados em 14/7/71,e a 7/8/71 tiveram início as operações de vôo que se prolongaram até 19/10/71, com base na cidade de Jataí, no Estado de Goiás.

Os vôos na área do Projeto se estenderam por 81 dias e 170 horas,dos quais apenas 39 dias operacionais;os outros representaram imobilizações atribuíveis a avião, equipamentos e climatologia. Uma troca prematura de motor, de um tipo não facilmente encontrável no Brasil, interrompeu a operação durante 18 dias consecutivos, para desespero dos responsáveis pela operação.

Identificados os óbices e corrigidas as falhas, acreditamos que tarefa semelhante possa ser levada a termo num período de 55 dias calendários, previstas imobilizações normais para operação desta natureza; a que corresponderiam 40 operacionais.



1.2 - Cooperação Técnica

As operações geofísicas estiveram muito tempo interrompidas no Brasil, por isso mesmo, não pôde a PROSPEC programar como desejava a execução de todas as etapas do levantamento no Brasil, em tão curto espaço de tempo.

O apoio logístico e operacional com que contou de parte da Lockwood Survey Corporation, de Toronto, no Canadá, foi sem dúvida um fator decisivo no sucesso da qualidade técnica dos resultados do Projeto.

Tecnologia, equipamentos e mesmo mão de obra, foram mobilizados às pressas para atender aos requisitos do levantamento, permitindo um fluxo normal das operações desde os vôos até a interpretação.

1.3 - Responsabilidade

A interpretação geofísica e a integração com a geologia são de responsabilidade do Dr. Allan Spector,Ph.D. e Geofísico-Chefe da LSC, que foi nesta tarefa auxiliado pelo geólogo Judah Azuelos, B.Sc., também da LSC.

Na sua fase final no Brasil, as conclusões da interpretação foram discutidas com o prof. Fernando de Almeida e o engenheiro de minas Silvio V. Guedes, Vice-Presidente da PROSPEC e responsável pelo Projeto.

1.4 - Agradecimentos

É de justiça destacar a cooperação sem reservas de alguns técnicos da firma canadense em que a PROSPEC se apoiou para levar a cabo este contrato, entre eles Mr. Donald A. MacFadyen, Vice-Presidente, Mr. Harold Jantsch, Chefe da Divisão de Eletrônica e Messrs. William B. Moriarty, Ray Whitton e Donald Moore.

Durante a execução do Projeto, como decorrência do emprego de um cristal de maior volume do que o especificado, e da utilização de um gamä-espectrômetro, ao invés de simples cintilômetro, as especificações foram sendo alteradas para prôduzir um resultado que esperamos tenha ultrapassado a expectativa do contrato.

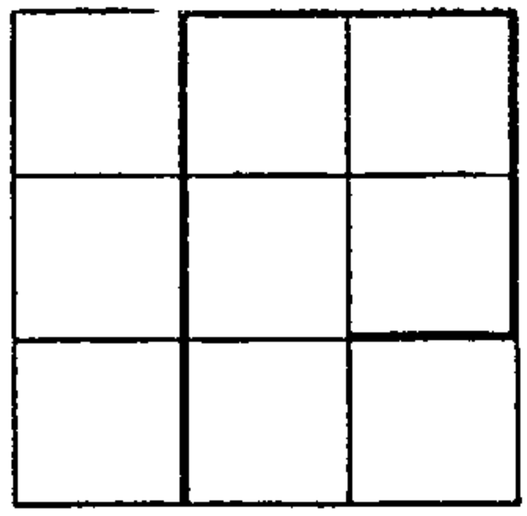
Estas mudanças só foram possíveis graças ao espírito de compreensãodos técnicos da CNEN, especialmente a equipe do Departamento de Exploração Mineral, na sedè e no distrito de Goiânia, dos técnicos do DNPM que compõem a Seção de Geofísica e dos técnicos da CPRM que acompanharam o Projeto. Estamos cônscios de que as modificações foram para melhor e que sem elas não teríamos alcançado os resultados que adiante são relatados.

Para apoiar a interpretação geofísica a PROSPEC contratou com o professor Fernando Flávio Marques de Almeida a elaboração de um relatório e mapas geológicos da área do Projeto,embora não previsto no contrato.

O esforço para cumprir os prazos contratuais e remover as dificuldades, exigiu dos técnicos da PROSPEC muitas horas extras de trabalho devotado, de parte do seu pessoal de vôo e manutenção, plotação e compilação dos resultados, comandantes Glauco Marotti,Márcio Paes Barreto, mecânico Milton Bissesto e Yedo Figueiredo,na base de Jataí.

No Escritório Técnico,o Gerente da Produção foi incansável na busca do melhor padrão de apresentação dos mapas e relatórios.

Na Sede, as importações em regime de urgência, a dati



— lografia do texto do relatório e outras tarefas menores, porém importantes, mobilizaram a administração da companhia, desde os diretores até os funcionários mais humildes.

II. INTRODUÇÃO

2.1 - INTRODUÇÃO

Em 14 de junho de 1971 a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) contratou com a PROSPEC S. A. a execução de um levantamento aerogeofísico na área do Projeto Alto Garças. A área do Projeto cobre, aproximadamente, 30.000 km2 e se situa na parte sul do Estado de Goiás e este do Estado de Mato Grosso.

O contrato nº 113/DA/71 enquadra os objetivos da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e define um levantamento aerocintilométrico com contagem total.

O contrato nº 114/DA/71 especifica para o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) a execução de um levantamento aeromagnetométrico na mesma área do Projeto.

Algumas operações da redução de dados, face à impossibilidade de estruturar um esquema para a execução das mesmas aqui no Brasil, foram confiadas à Lockwood Survey Corporation do Canadá, principalmente a tarefa de interpretação dos dados geofísicos e a integração dos mesmos com a geologia da área do Projeto, especialmente preparada para esta finalidade, pelo professor Fernando F. M. de Almeida, sob contrato com a PROSPEC.

2.2 - ÁREA DO PROJETO

Como está indicado no Mapa de Situação, Figura 1,a área

ÁREA DO PROJETO ALTO GARÇAS

MAPA DE SITUAÇÃO

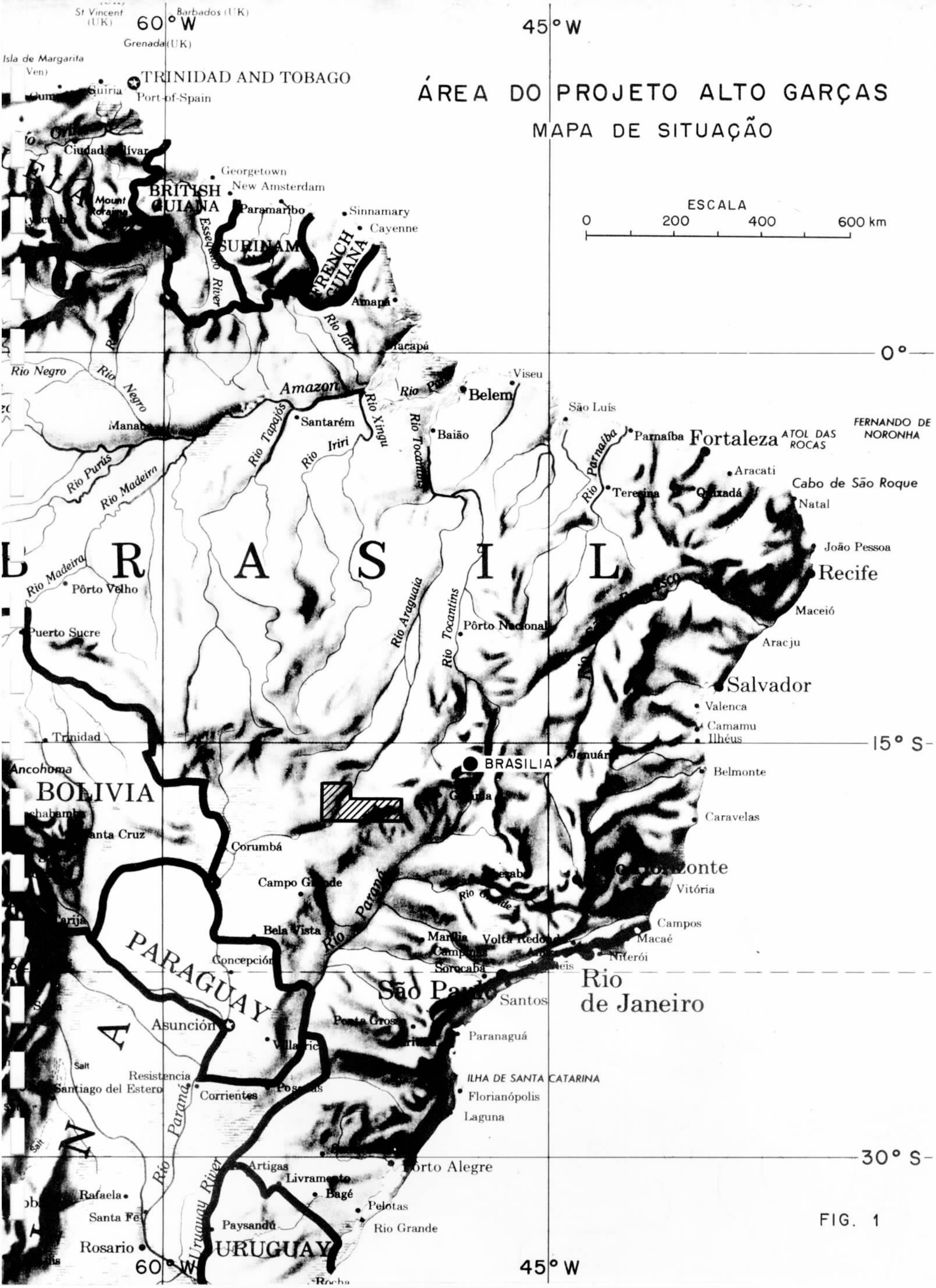
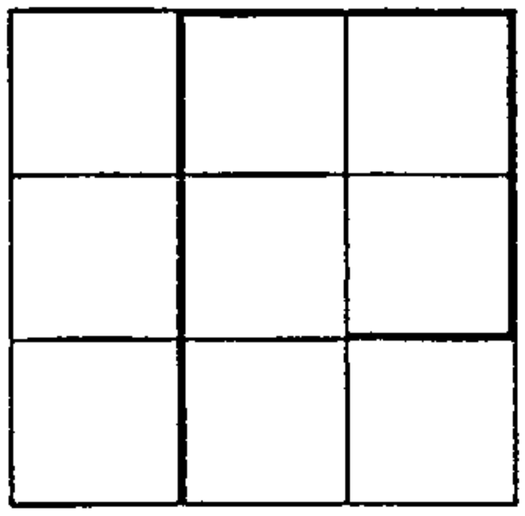


FIG. 1



— do levantamento se estende desde 16º 30' a 17º 45' de latitude Sul e de 50º 45' a 53º 45' de longitude Oeste, cobrindo, aproximadamente, 30.000 quilômetros quadrados.

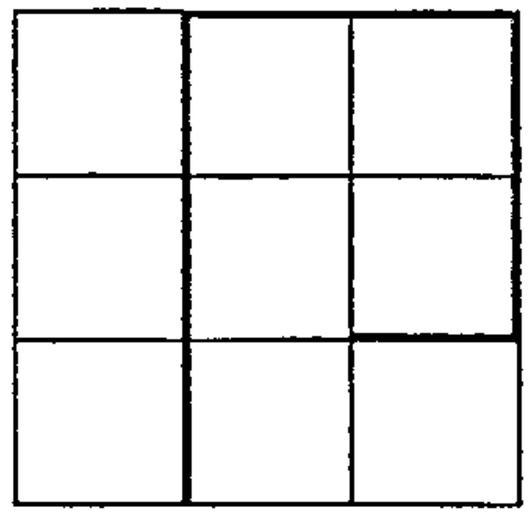
O Projeto Alto Garças abrange o divisor de águas que separa as altas bacias dos rios Paranaíba, Paraguai e Araguaia.

Geograficamente representa uma cuesta cujo reverso cai suavemente para Sul, constituindo o Planalto do Rio Verde, de relevo suave, cujo fronte escarpado, a Serra do Caiapó e/ou das Divisões, separa-o de um segundo planalto, o de Caiapônia, cerca de 300 m mais baixo. As maiores elevações da crista da cuesta alcançam aproximadamente 1.000 m de altitude, de onde caem lentamente, a razão de 2m/km em direção ao Sul. O rio Araguaia, de traçado obsequente, atravessa a região ocidental e seu vale é muito escavado, apresentando localmente feições de canion, com importantes cachoeiras em basaltos, a jusante de Alto Araguaia.

No trecho matogrossense o planalto sedimentar acha-se profundamente esculpido nas altas bacias dos rios Itiquira e das Garças, e outros menores, onde as maiores altitudes pouco ultrapassam 800 metros.

Vegetação de cerrados e campos cerrados cobre a maior parte da área matogrossense, assim como os vales maiores dos principais rios da área goiana, em particular, o Planalto de Caiapônia. Os altos divisores de água do Planalto do Rio Verde, onde o relevo é mais suave, apresentam vegetação de campos, com matas ciliares ao longo dos rios.

O acesso à área do Projeto se faz através de estradas



que ligam a cidade de Montividiu a leste, Mineiros no centro e Santa Rita do Araguaia/Alto Araguaia, a oeste, com Rio Verde e Jataí logo ao sul da área do Projeto.

A estação chuvosa que geralmente se estende de novembro até março, não é favorável a levantamentos radiométri - cos. Nossas operações de vôo foram completadas em outubro/71, já sob a influência das primeiras chuvas que caracterizam o fim da estação seca, que se estende de maio a setembro.

2.3 -GEOLOGIA DA ÁREA DO PROJETO

Para apoiar a análise e interpretação dos dados geofísicos do levantamento, o professor Fernando Flávio Marques de Almeida elaborou uma síntese de todos os conhecimentos geológicos disponíveis dentro e em derredor da área do Projeto, suplementados e complementados onde se fez necessário por uma interpretação geológica das fotografias aéreas e mosaicos.

O prof. Fernando Almeida tinha conhecimento prévio da área através de várias campanhas executadas em anos anteriores, o que facilitou a sua tarefa e melhorou a qualidade da síntese. Ao texto do seu relatório foram anexados mapas geológicos em escala 1:100.000, com uma seção geológica de direção norte-sul cortando a parte central da área, que se mostra na Figura 3. A figura 4 representa na escala 1:250.000 o mapa geológico da área do Projeto Alto Garças, uma simplificação das folhas geológicas em 1:100.000.

A área do Projeto se situa na parte norte da Bacia do

SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA

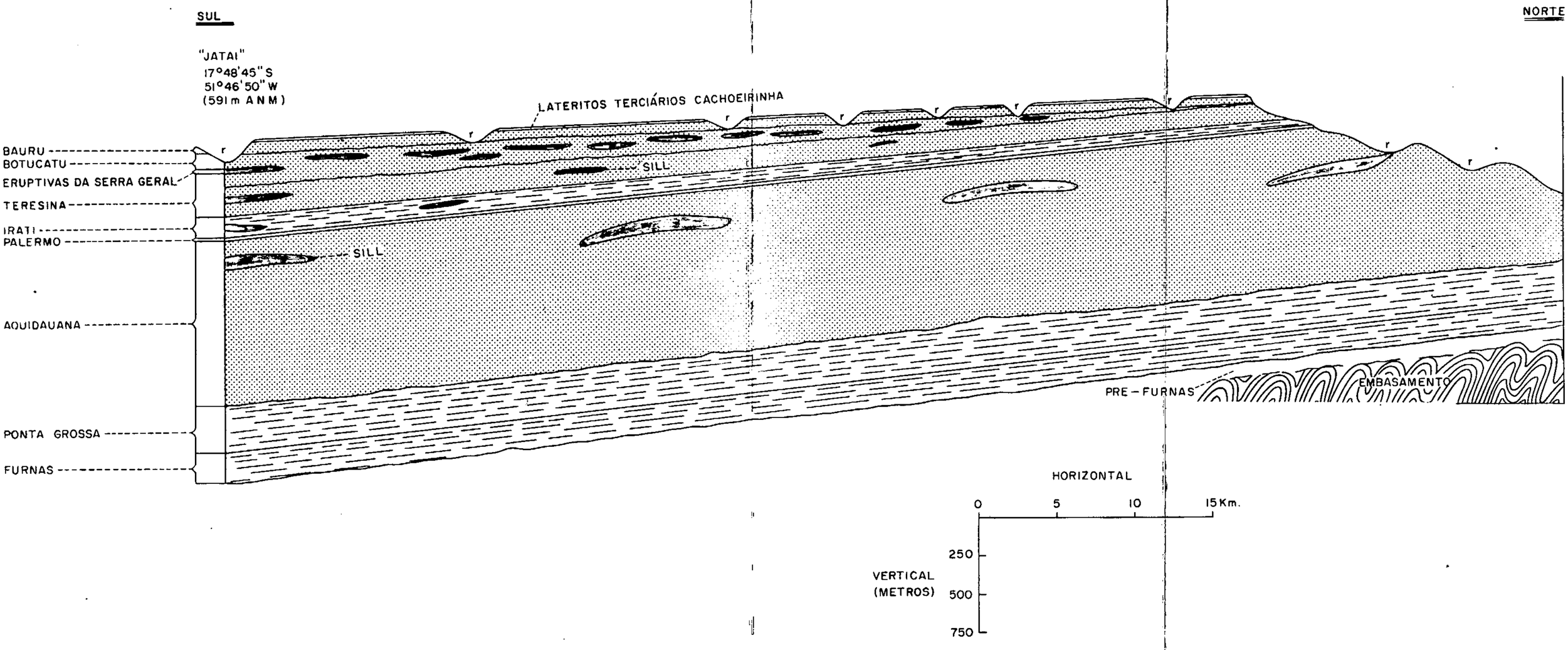
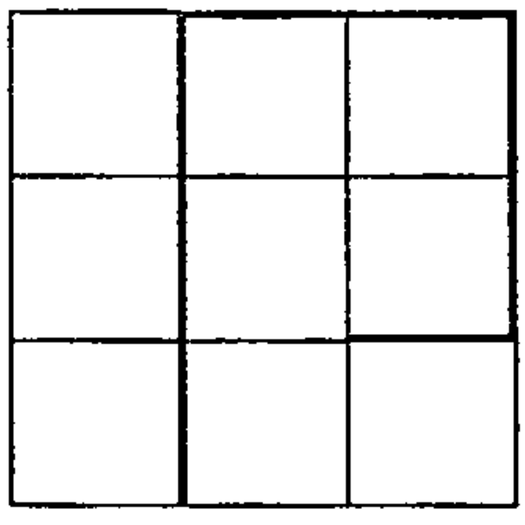


FIG. 3



– Paraná, cuja sequência estratigráfica consta da tabela anexa, a partir da qual descreveremos suscintamente as suas principais unidades.

A Formação Cachoeirinha, considerada terciária pelos geólogos da Petrobrás, compõe-se de lateritos e representa a erosão in situ das camadas da Formação Bauru . Face ao pequeno mergulho regional,10/15m/km, esta sequência de arenitos lateritizados cobre grande parte da área do Projeto, particularmente a metade oriental.

A Formação Botucatu e as Eruptivas da Serra Geral constituem uma sequência que se expõe com maior frequência nos vales onde usualmente a sucessão indivisa Bauru - Cachoeirinha está dissecada. Formações permianas e carboníferas afloram, principalmente, a nordeste e noroeste da área, enquanto as formações devonianas estão limitadas às áreas que circundam o Domo de Araguainha. A fase intrusiva do Cretáceo Inferior está representada pelos sills e diques do vulcanismo da Serra Geral , que se intrometem nas camadas do Permiano Inferior, e na parte superior da Formação Aquidauana.

As principais feições estruturais dentro da área do Projeto são:

(a) uma feição homoclinal de direção E-W a NW-SE,mergulhando suavemente para sul e sudoeste, a razão de 10-16 m/km;

(b) o Domo de Araguainha, localizado na parte noroeste da área;

(c) falhas normais orientadas para NE-SW, que se acredita sejam de idade cretácica, e que deslocam as camadas paleozóicas e os vulcanitos da

M : sedimentos marinhos
NM : sedimentos não marinhos, continentais
DA : Domo de Araguainha

Idade	Formação	Origem	Litologia	Espessura (metros)	Observações
Quaternário	--	NM	sedimentos não consolidados	?	--
Terciário	Cachoeirinha	NM	lateritos	?	--
MESOZOICO Cretáceo Superior	Bauru	NM	arenitos	150-200	--
		discordância			
Cretáceo Inferior	Eruptivas da Serra Geral		lavas basálticas, diques e sills de diabásio	+200	DA e partes lestes da área
	Botucatu	NM	arenitos	130-170	forma mesas
		discordância			
PALEOZOICO Permiano Inferior	Teresina	NM	siltitos e folhelhos	100-150	em 20-25 km faixas largas
	Irati	M	folhelhos cinza e pretos, dolomitos e calcários	30-50	
	Palermo	NM	siltitos e folhelhos	9-15	
		discordância			
Carbonífero Superior	Aquidauana	NM	arenitos vermelhos, tilitos, folhelhos arcósios e conglomerados	700-1200	escarpas na Serra do Caiapó e em áreas de Mato Grosso
		discordância			
Devoniano	Ponta Grossa	M	argilitos, folhelhos, arenitos	250-300	DA
	Furnas	M	arenitos	300	escarpas no DA
		discordância			
Pré-Devoniano Pré-Cambriano	Complexo do Embasamento Cristalino		granito/ gnaisse	?	Parte central do DA

Serra Geral.

O Domo de Araguainha (Silveira Filho e Ribeiro, 1971) é uma estrutura circular que abrange uma área de, a - proximadamente, 1200 km2. Na sua parte central ou núcleo expõem-se rochas pré-devonianas e pré-cambrianas de composição granito-gnaissica, de textura grosseira. Estratos paleozóicos das formações Furnas, Ponta Grossa e Aquidauana, maiormente arenitos, estão dobrados nas proximidades do núcleo granito-gnaissico e falhados radialmente e concentricamente pela aparente ascenção do embasamento. Lavas, tufos e brechas vulcâni - cas formam anéis em torno do núcleo granítico do domo. Estas extrusivas podem ser relacionadas às eruptivas da Serra Geral, expostas na maior parte da área estudada ao sul e a este, e/ou aos sills e diques pre - sentes na seção paleozóica.

Zonas de alta radioatividade, representando 22 vezes "background" foram observadas nas vizinhanças das zonas de falhas e ocorrências de tório, ítrio, bário e cobre, identificadas próximas a fraturas na Formação Aquidauana.

2.4 - OBJETIVO DO LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO

Levantamento Radiométrico

O Projeto Alto Garças é parte da programação da CNEN para pesquisar mineralização uranífera, principalmente em sedimentos do permiano e do carbonífero, ao longo do flanco ocidental, oriental e setentrional da Bacia do Paraná. Trabalhos anteriores compreendendo testemunhagem, perfilagem e levantamentos cintilométricos, produziram resultados encorajadores que aca -

baram por recomendar o prosseguimento da exploração.

Alem do mais, como mencionado na seção 2.3, investigações no terreno indicaram a presença de minerais radioativos associados com sedimentos do permiano nas vizinhanças do Domo de Araguainha. As razões que presidiram a escolha da área do Projeto Alto Garças acham-se contidas no ofício da CNEN/DEM nº 40/72 de 25.1.72.

Um levantamento aerocintilométrico forneceria, àssim, as bases para locar e mapear outras zonas com mineralização radioativa. Como adiante descrito no Capítulo III, o levantamento foi executado utilizando-se um cristal de apreciável volume, 6.850 cm3 ou 415,26 polegadas cúbicas, com um espectrômetro de quatro canais.

O emprego do espectrômetro representou excepcional vantagem sobre o cintilômetro de contagem total, de vez que proporcionou a identificação do elemento radioativo que deu causa a anomalias, seja ele tório, potássio ou urânio, além de registrar a contagem total da radiação gama.

Era também nosso propósito, ao empregar um cristal de maior volume, partir para a integração dos dados do levantamento radiométrico com o mapeamento geológico, com base nos contrastes de radioatividade identificáveis entre as várias unidades litológicas que afloram na área do Projeto.

Levantamento Magnético

Rochas extrusivas e intrusivas básicas, tais como as rochas ígneas da Serra Geral, são normalmente bastante magnéticas, isto é, ricas em magnetita, de forma

- a poderem ser representadas e mapeadas num mapa de intensidades magnéticas.

Além destas, rochas cristalinas do embasamento pré-cambriano tambem possuem expressão num mapa de intensidade magnética. Era possível antecipar que as seguintes informações geológicas seriam extraíveis de uma análise dos dados magnéticos:

(1) a distribuição das extrusivas vulcânicas da Serra Geral;
(2) falhas que tenham causado o deslocamento dos vulcanitos:
(3) intrusivas isoladas;
(4) profundidades até as rochas vulcânicas abaixo da superfície, ou alternativamente, a espessura dos sedimentos que as recobrem;
(5) a espessura de sedimentos que recobrem o embasamento pré-cambriano nas áreas não cobertas pelas rochas da Serra Geral.

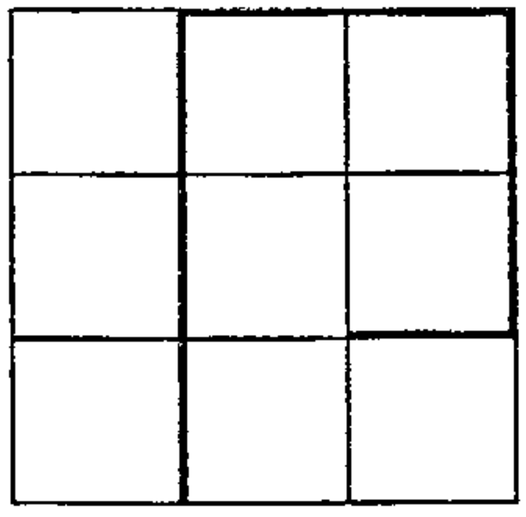
III. O LEVANTAMENTO AEROGEOFÍSICO

A sequência geral de operações para a execução do Projeto compreendeu:

- preparação de um mosaico básico em escala ..... 1:50.000, semi-controlado, a partir das fotografias da USAF em 1:60.000, para utilizar em:

  (a) navegação e planejamento dos voos,
  (b) identificação dos traços dos voos, e
  (c) como base para a compilação;

- operações de vôo a partir da base de Jataí, no Es-



tado de Goiás, no período de 8 de agosto a 19 de outubro de 1971;

- compilação dos dados radiométricos dos perfis de contagem total e dos canais,da variação de altura do avião, superpostos nos traços dos vôos, na escala de 1:50.000;
- compilação dos dados magnéticos a partir dos perfis, na forma de curvas de igual intensidade magnética, isogamas na escala 1:50.000, como transparências sobre os mosaicos;
- interpretação dos dados do levantamento aeromagnético e sua correlação com os dados radiométricos e geológicos já compilados, para produzir novos mapas de interpretação em escala 1:100.000;
- integração dos dados magnéticos, radiométricos e geológicos.

3.1 - MOSAICO BÁSICO

As fotografias aéreas existentes em escala 1:60.000, da USAF, foram utilizadas para preparar os mosaicos básicos em escala 1:50.000, semi-controlados. Como elemento de controle para a uniformização da escala se utilizou a triangulação radial das bases planimétricas existentes na parte leste da área, e uma nova triangulação radial preparada para a parte oeste.

Os mosaicos foram elaborados como negativos na escala 1:50.000, num total de 44 folhas, como indica a Figura 2-A, abrangendo cada uma 15' de longitude por 15' de latitude. A cada negativo correspondeu um positivo tramado que permitiu reproduções heliográficas. Também foram elaborados 4 folhas de mosaico em

ÁREA DO PROJETO

ÍNDICE DAS FÔLHAS 1:50 000

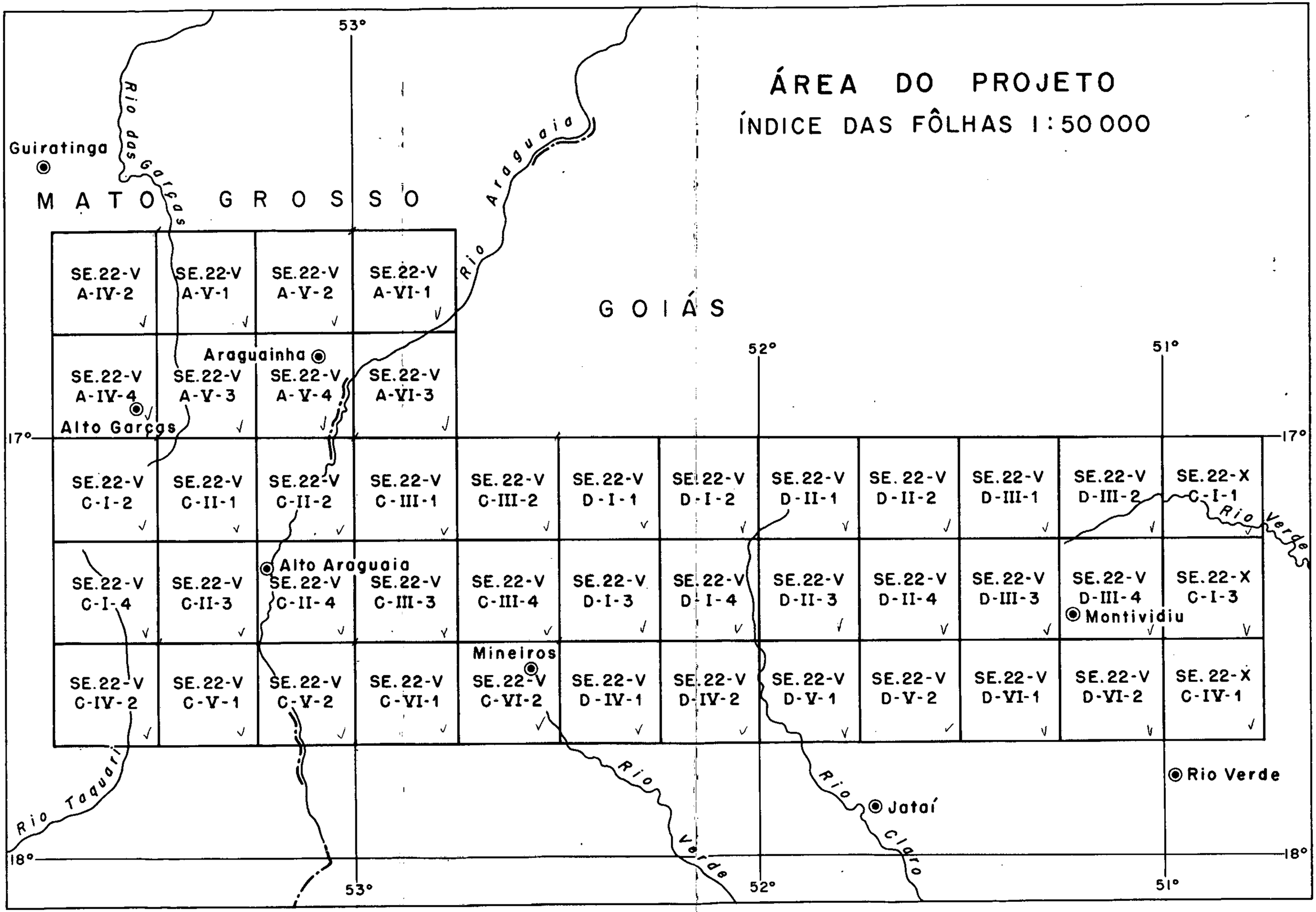
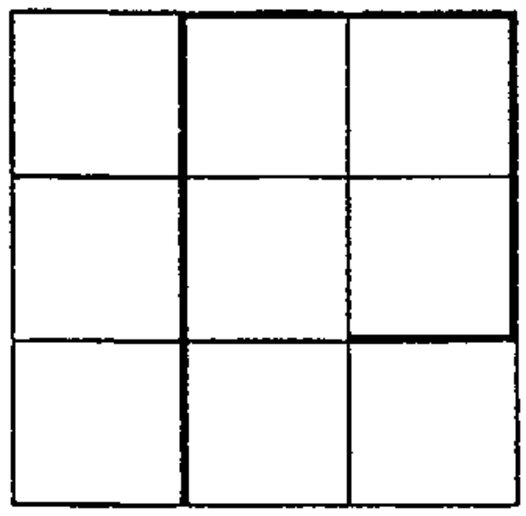


FIG. 2-A



- escala 1:100.000, Figura 2, por justaposição conveniente de folhas de 15' x 15', sem preocupação de corte geográfico.

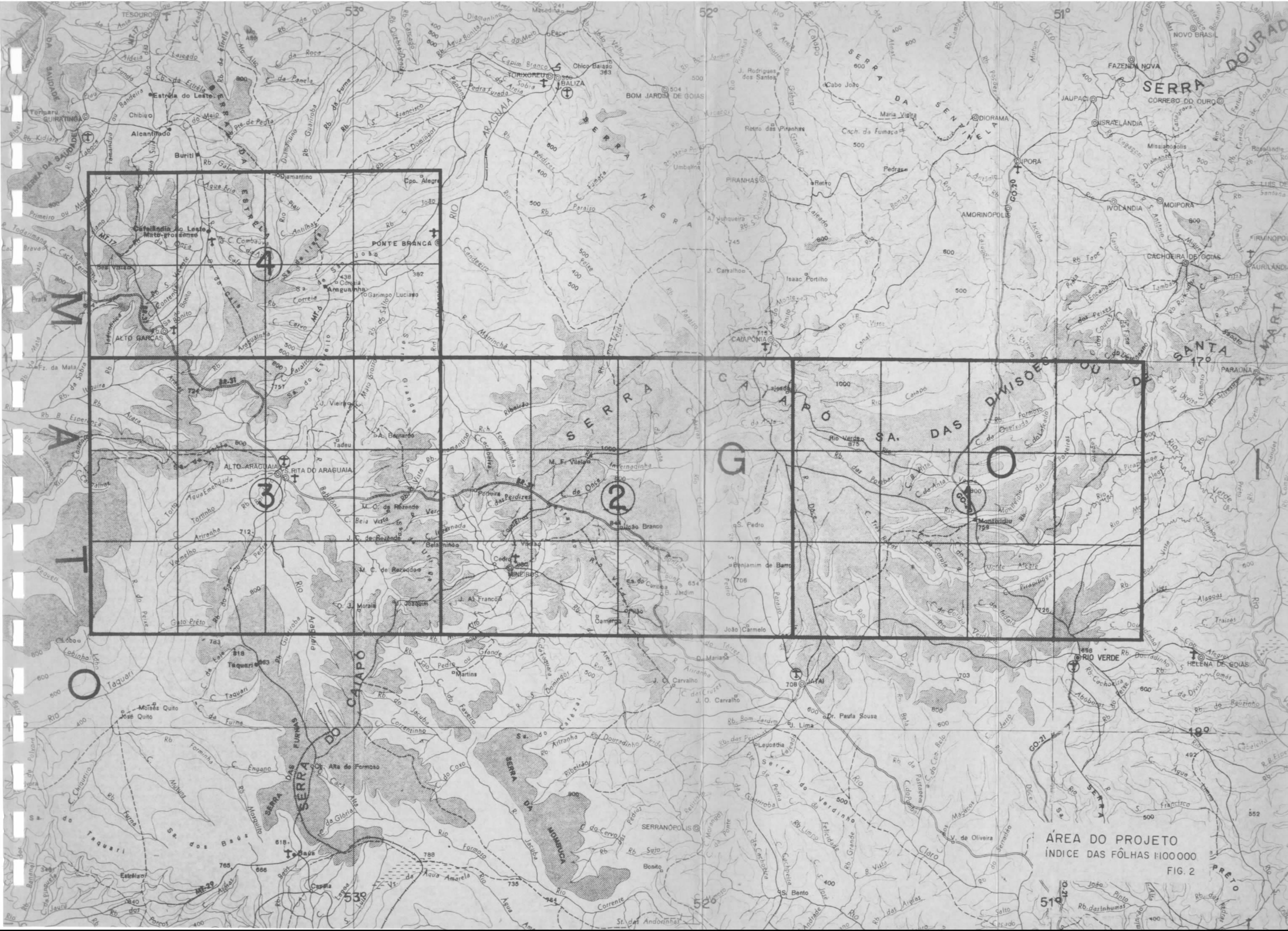
3.2 - PLANO, ALTURA E TRAÇO DOS VÔOS

O levantamento constou de perfis transversais voados em direção norte-sul e interespaçados de um quilômetro, com linhas de amarração ou de controle, em direção este-oeste, equidistantes de, aproximadamente, 20 km. Os perfis transversais foram numerados de leste para oeste e receberam números de 1 até 319; as linhas de controle receberam numeração de norte para sul, de 1 até 8.

Uma altura média de vôo sobre o terreno de 120 m com tolerâncias de + 10% e - 40% constava das especificações do contrato. Para manter um vôo com estas especificações foi adotada uma altura média de 100 m , que foi seguida tão aproximadamente quanto possível . Deve-se notar que a contagem total da radioatividade registrada foi sempre corrigida para a altura especificada de 120 m sobre o terreno.

Uma combinação de navegação visual, sobre as faixas de fotografias e mosaicos, e de navegação com doppler foi sempre empregada durante toda a execução do levantamento, para assegurar o melhor paralelismo entre os perfis.

Após cada vôo o filme de 35 mm da câmara de rastreo ou de posição, era revelado locando-se a posição do perfil no mosaico a intervalos entre 2-3 km, pela identificação das fiduciais sobre os mosaicos. As fotografias de 35 mm identificadas recebiam então a numeração


53°
52°
51°
17°
18°
GOIÁS
MATO GROSSO
SERRA DA SAUDADE
SERRA DA ESTRELA
SERRA DA ARAGUAIA
RIO ARAGUAIA
SERRA NEGRA
SERRA DA MOMBUCA
SERRA DAS FURNAS
SERRA DO CAIAPÓ
SERRA DA CANASTRA
SERRA DOURADA
SERRA DA SENTINELA
SERRA DAS DIVISÕES
SERRA DO MARTA
RIO PRETO
Estrela do Leste
Alcantilado
Buriti
Diamantino
Cpo. Alegre
Cafelândia do Leste Mato-grossense
PONTE BRANCA
Anaguanha
ALTO GARÇAS
ALTO ARAGUAIA
S. RITA DO ARAGUAIA
TORIXOREU
BALIZA
Chico Baiano
BOM JARDIM DE GOIÁS
PIRANHAS
Retiro
Retiro das Piranhas
Cabo João
DIORAMA
IPORÁ
AMORINÓPOLIS
CACHOEIRA DE GOIÁS
MOIPORÁ
IVOLÂNDIA
ISRAELÂNDIA
JAUPACI
FAZENDA NOVA
NOVO BRASIL
CORREGO DO OURO
CAIAPÔNIA
Isaac Portilho
J. Carvalho
Pedrasa
Maria Vieira
Cach. da Fumaça
J. Rodrigues dos Santos
Missianopolis
PARANÃ
SANTA
Montividiu
Montividiu
Benjamim de Barro
S. Pedro
J. Al. Francco
Cedro
MINEIROS
Camarga
João Carmelo
Taquari
Moisés Quito
José Quito
Cach. Alta do Formoso
Cach. Alta
Baús
Estrêlão
Capela
SERRANÓPOLIS
Bonito
S. Bento
Leucadia
Dr. Paula Sousa
J. Lima
ITAJÁ
RIO VERDE
HELENA DE GOIÁS
V. de Oliveira
Rio Verde
Rio Claro
Rio Formoso
Rio Jacuba
Rio Correntinho
Rio Antinhas
Rio Diamantino
Rio Quariroba
Rio Jacubinha
Rio Verdinho
Rio Verdão
Rio Preto
Rio Taquari
Rio Araguaia
Rio Bonito

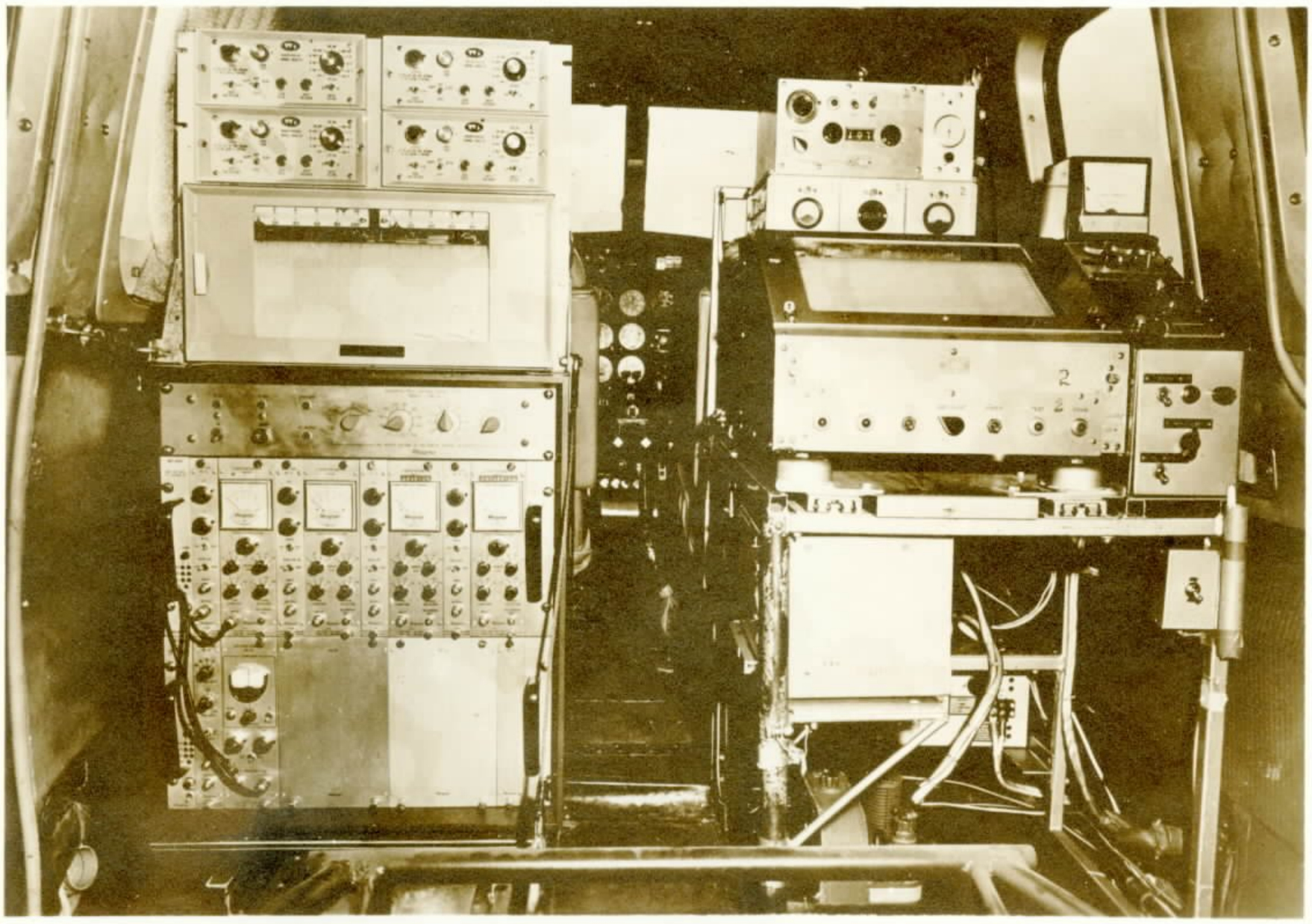
— que lhes correspondia e estas anotações eram transferidas para os gráficos e os mosaicos.

3.3 - INSTRUMENTAL DO AVIÃO DO LEVANTAMENTO

As operações de vôo foram executadas com o auxílio de um bi-motor Aero Commander, motor super-comprimido, Figura 5, com prefixo PT-DWN, equipado com tanques de longo raio de ação e sistema de navegação doppler.

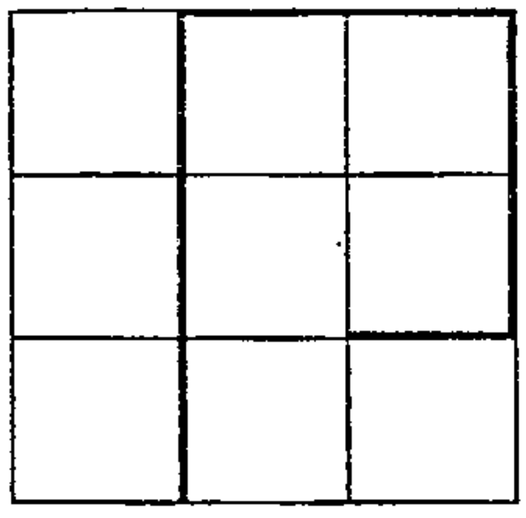
O instrumental do levantamento incluiu:

- um espectrômetro de raios gama de quatro canais , com um cristal de NaI como detetor, com um volume de 6.850 cm3 (415,26 polegadas cúbicas);
- um magnetômetro aéreo do tipo fluxgate, de registro contínuo,montado num esporão na cauda do avião;
- um altímetro de radar, para medir a altura livre avião/terreno;
- uma câmara de rastreo ou de posição, de 35 mm,com marcação fiducial integrada com todos os registros gráficos dos outros instrumentos de bordo;
- um registrador analógico, de seis canais, mostrando gráficos de: contagem total radiométrica, contagem total corrigida da variação de altura, contagem no canal de tório (Tl 208), contagem no canal de urânio (Bi 214), contagem no canal de po - tássio (K 40), e a altura livre entre o avião e o terreno. As exposições da câmara de rastreo ou de posição eram registradas nos gráficos, a intervalos pré-estabelecidos;
- um registrador analógico de um só canal, mostrando a intensidade magnética do campo total e as ex



VISTAS EXTERNA E INTERNA DO AVIÃO
AERO COMMANDER PT-DWN, EQUIPADO
PARA VÔOS GEOFÍSICOS
JATAÍ, 1971

FIG. 5



posições da câmara de rastreo.

Descrições detalhadas do instrumental de sensoria - mento constituem o Apêndice A deste relatório.

As Figuras 6 e 7 mostram segmentos típicos de gráficos do espectrômetro, do altímetro e do magnetômetro. A velocidade de registro, as escalas verticais e sensibilidade estão indicadas nestas réplicas dos gráficos reais do levantamento.

Um magnetômetro do tipo fluxgate foi instalado na base de Jataí, para servir como monitor de tempestades e registrar diariamente as variações da intensidade do campo magnético terrestre. A Figura 8 demonstra um registro típico deste monitor magnético.

A precipitação pluviométrica, sob a forma de chuvas ou de umidade excessiva no ar, provoca uma substancial supressão do registro radiométrico. Em nenhum momento se tentou prosseguir com o levantamento durante períodos de alta umidade do ar ou imediatamente após a queda de chuvas. Frequentes testes foram feitos sobre áreas anômalas escolhidas no terreno de modo a assegurar a uniformidade das condições ambientes, a repetibilidade e confiabilidade das medidas.

3.4 - PESSOAL DO LEVANTAMENTO NO CAMPO

As operações de vôo, com base em Jataí, contaram com os seguintes técnicos:

- um Chefe de Unidade, piloto experimentado em levantamentos e também navegador;
- um segundo piloto/navegador, também de grande experiência em levantamentos;

POTÁSSIO

100 cps = 50 mm

ZERO (DESLOCADO)

URÂNIO

100 cps = 50 mm

ZERO

TÓRIO

100 cps = 50 mm

ZERO

CONTAGEM TOTAL

2000 cps = 50 mm

ZERO

→ VELOCIDADE DO GRÁFICO 8,9 cm / min. →

PERFIL GAMA-ESPECTROMÉTRICO TÍPICO

A CONTAGEM RADIOMÉTRICA NOS CANAIS INCLUI "BACKGROUND" ATMOSFÉRICO

LINHA 234-A — REDUZIDO PARA 75% DO ORIGINAL

FÔLHA SE. 22-V-A-VI-3

FOTOGRAFIA DE POSIÇÃO PLOTADA

MARCAS FIDUCIAIS

980 919 855

300 metros

ALTÍMETRO DE RADAR

ALTURA MÉDIA SÔBRE O TERRENO: 100 m

FIG. 6

PASSOS AUTOMÁTICOS
DE 500 γ

ESCALA DA SENSIBILIDADE 600 γ = 25,4 cm

MARCAS FIDUCIAIS DA
CÂMARA DE POSIÇÃO.
REGISTRO DE CADA NONA
E DÉCIMA EXPOSIÇÕES.

PLANO DE REFERÊNCIA
"DATUM", DEFINIDO PELO
AJUSTAMENTO DA RÊDE
DE CONTRÔLE.

VELOCIDADE
DO GRÁFICO
7,62 cm / min.

FIDUCIAL
PLOTADA

FIDUCIAL
PLOTADA

NORTE

PERFIL AEROMAGNÉTICO TÍPICO MOSTRANDO PLANO DE REFERÊNCIA "DATUM" ADOTADO DURANTE O PROCESSAMENTO

LINHA 149
FÔLHA SE.22-V-D-I-4

REDUZIDO PARA
75% DO ORIGINAL

FIG. 7

REGISTRO DO MAGNETÔMETRO DE TERRA

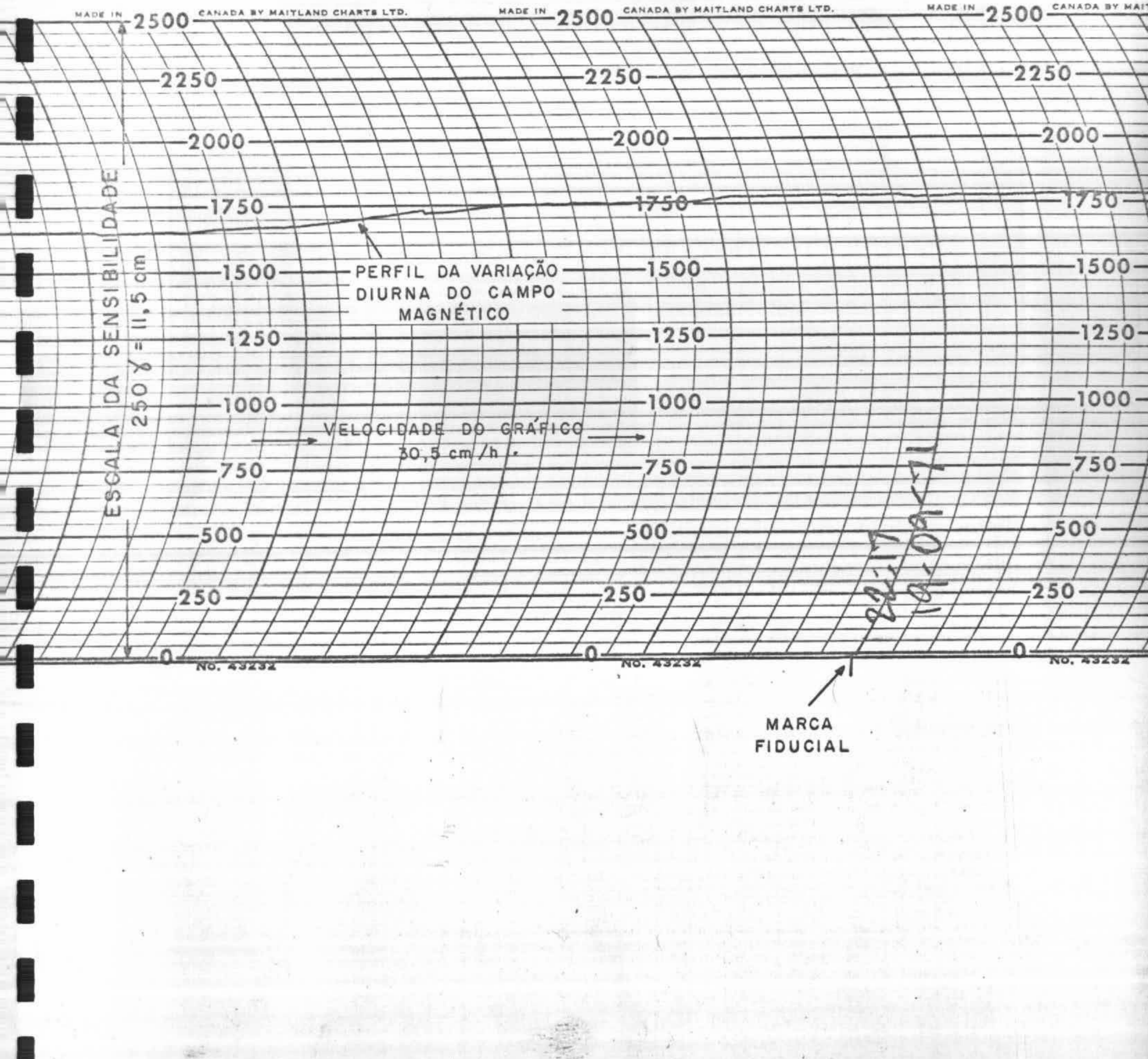


FIG. 8

- um técnico em eletrônica e operador de instrumentos;
- um mecânico de aviação responsável pela manutenção da aeronave;
- dois técnicos em processamento de dados geofísicos.

Um fiscal designado pela CPRM esteve presente no local dos trabalhos permanentemente, examinando os registros dos vôos, a plotação das fiduciais da câmara de posição e decidindo sobre a aceitação dos elementos.

Em inspeção periódica estiveram presentes na área vários geólogos da CNEN e do DNPM.

3.5 - PRODUÇÃO

Um gráfico da produção do levantamento constitui a Figura 9, o qual indica que após uma semana de testes na base de operações, quando problemas eletrônicos com a instalação do espectrômetro não permitiram a execução de vôos produtivos, as operações prosseguiram sem discontinuidade por um período de de tres semanas, durante o qual 40% da área do Projeto foi sobrevoada.

Uma falha prematura de um dos motores da aeronave imobilizou-a por um período de 18 dias, obrigando a companhia a trocar de motor duas vezes. As operações, logo após reiniciadas, prolongaram-se por mais cinco semanas, durante as quais os restantes 60% do levantamento foram completados.

Em obediência às especificações do contrato, voamos 34.030 km de perfis dentro da área do Projeto

QUILOMETRAGEM (PRODUÇÃO EM km / LINHAS)

0 5000 10000 15000 20000 25000 30000 35000 km

JULHO — AGOSTO — SETEMBRO — OUTUBRO

27 25 20 15 10 5 1 30 25 20 15 10 5 31 25 20 15 10 5 1 30

Nº VÔOS DIÁRIOS - 1 1 1 1 2 2 2

Alto Garças. O detalhamento da anomalia magnética de Santana e do Domo de Araguainha resultou na produção de mais 515,5 e 258,7 km de vôos adicionais , respectivamente. A produtividade diária de vôo foi em média de 940 km de perfis por dia operacional; todavia, a produção global por dia calendário durante a missão foi muito abaixo do que seria normal esperar, face aos problemas eletrônicos iniciais, decorrentes do superaquecimento do sistema detetor, e da prolongada imobilização da aeronave para a troca de motores na base de operações, sem recursos adequados. Removendo estas paralizações extraordinárias, a produtividade média pode ser estimada como da ordem de 640 km de perfis por dia calendário.

As operações de vôo nunca foram seriamente afetadas por climatologia, até que as primeiras chuvas pesadas começaram a cair na região,durante as duas últimas semanas da operação.

3.6 - OPERAÇÕES COM O ESPECTRÔMETRO

Além das verificações eletrônicas de rotina para a manutenção dos sub-sistemas de sensores, certos testes específicos de funcionamento dos instrumentos foram sendo executados durante cada vôo, visando a assegurar a confiabilidade e utilidade dos resultados;

(a) teste de sensibilidade: amostras de feldspato potássico (K),torita (Th), e pitchblenda (U) , eram colocadas nas vizinhanças do cristal do detetor, e a Figura 10 mostra registros típicos resultantes desta verificação da sensibilidade;

(b) medida da radiação do "background" atmosférico:

100 cps = 50 mm

POTÁSSIO

K MÉDIO = 4 cps

100 cps = 50 mm

URÂNIO

U MÉDIO = 6 cps

100 cps = 50 mm

TÓRIO

Th MÉDIO = 8 cps

2000 cps = 50 mm

CONTAGEM TOTAL

CONTAGEM TOTAL

"BACKGROUND" ATMOSFÉRICO MÉDIO = 270 cps

FAIXA DE MEDIDA

2000 cps = 50 mm

REGISTRO DA CONTAGEM TOTAL
COM ALTURA CORRIGIDA

TESTE DE SENSIBILIDADE DO ESPECTRÔMETRO
E VERIFICAÇÃO DO "BACKGROUND" ATMOSFÉRICO

ALTURA DE VÔO 750m
SOBRE O TERRENO

REDUZIDO PARA
75% DO ORIGINAL

FIG. 10

a aeronave era levada até a altura de 800 a 1000 metros acima do terreno, para determi - nar a componente não geológica do background radioativo, no canal de contagem total e em cada um dos canais do urânio, tório e potássio. Os gráficos da Figura 10, obtidos a uma altura de 800 m acima do terreno, mostram os resultados de um dos testes antes e depois de cada vôo diário;

(c) supressão radiométrica por chuva e umidade: uma série de perfis de teste foram escolhi - dos antes do início da produção, sobre detalhes geográficos de fácil identificação, de modo a permitir vôos e revôos precisos em área com relevo radiométrico apreciável. Periodicamente, durante a execução do levantamento, e especialmente após qualquer indica - ção de precipitação pluviométrica na área, estes perfis de teste eram sempre revoados. A Figura 11 mostra dois registros espectrométricos, antes e depois de chuvas. No primeiro, voado durante período seco, ve-se uma anomalia facilmente identificável, principalmente nos canais de tório e urânio. No segundo, voado logo após a única precipitação registrada durante o levantamento, a anomalia de U/Th perdeu muito de sua resolução;

(d) testes de correção de altura: uma zona de anomalia radiométrica foi voada doze vezes a diferentes alturas livres do avião sobre o terreno, 90, 120, 150, 165, 180, 195, 210,225, 240, 270, 300 e 450 m, mantendo-se constantes

POTÁSSIO

100 cps

URÂNIO

100 cps

TÓRIO

100 cps

CONTAGEM TOTAL

2000 cps

K - SUPRESSÃO

U - SUPRESSÃO

Th - SUPRESSÃO

CT - SUPRESSÃO

SEGMENTO VOADO ANTES DA CHUVA

MESMO SEGMENTO PRECISAMENTE REVOADO DEPOIS DA CHUVA

TESTE DE SUPRESSÃO DE RADIAÇÃO DEPOIS DE CHUVA LOCAL

LINHA 195 FÔLHA SE. 22-V-C-VI-2

FIG. 11

a velocidade e a direção do avião. Os perfis, após a subtração da radiação que compõe o "background" e os registros do altímetro de radar foram então digitalizados. Os dados obtidos foram submetidos a um processo de análise pelo método dos mínimos quadrados para se determinar o melhor ajuste matemático entre os valores da radiação de contagem total e os da altura do avião. Dois modelos matemáticos foram escolhidos:

$$TC\ (h) = TC\ (h_o)\ e^{-\ (h-h_o)\ \mu}$$

$$TC\ (h) = TC\ (h_o)\ \frac{e^{-\ (h-h_o)\ \mu}}{(h-h_o)^2}$$

onde TC é a radiação de contagem total registrada referida ao nível do "background", h é a altura do avião, h_o é a altura prescrita nas especificações (120 m), e μ é o coeficiente de absorção atmosférica. Em termos da soma dos quadrados dos desvios, o primeiro modelo mostrou muito melhor grau de ajustamento aos dados de detalhe; isto é, um r.m.s. residual de somente 5 cps, quando comparado com 110 cps. O coeficiente de absorção atmosférica determinado foi $0.0056 m^{-1}$.

A Figura 12 mostra os perfis de radiação de contagem total utilizados no teste, e a Figura 13 os mesmos dados depois de aplicada a fórmula de correção exponencial para o ajuste a altura de 120 m sobre o terreno. Os re

ALTURA ACIMA DO TERRENO

90m

NÍVEL DO "BACKGROUND" ATMOSFÉRICO

120m

150m

165m

180m

195m

210m

225m

240m

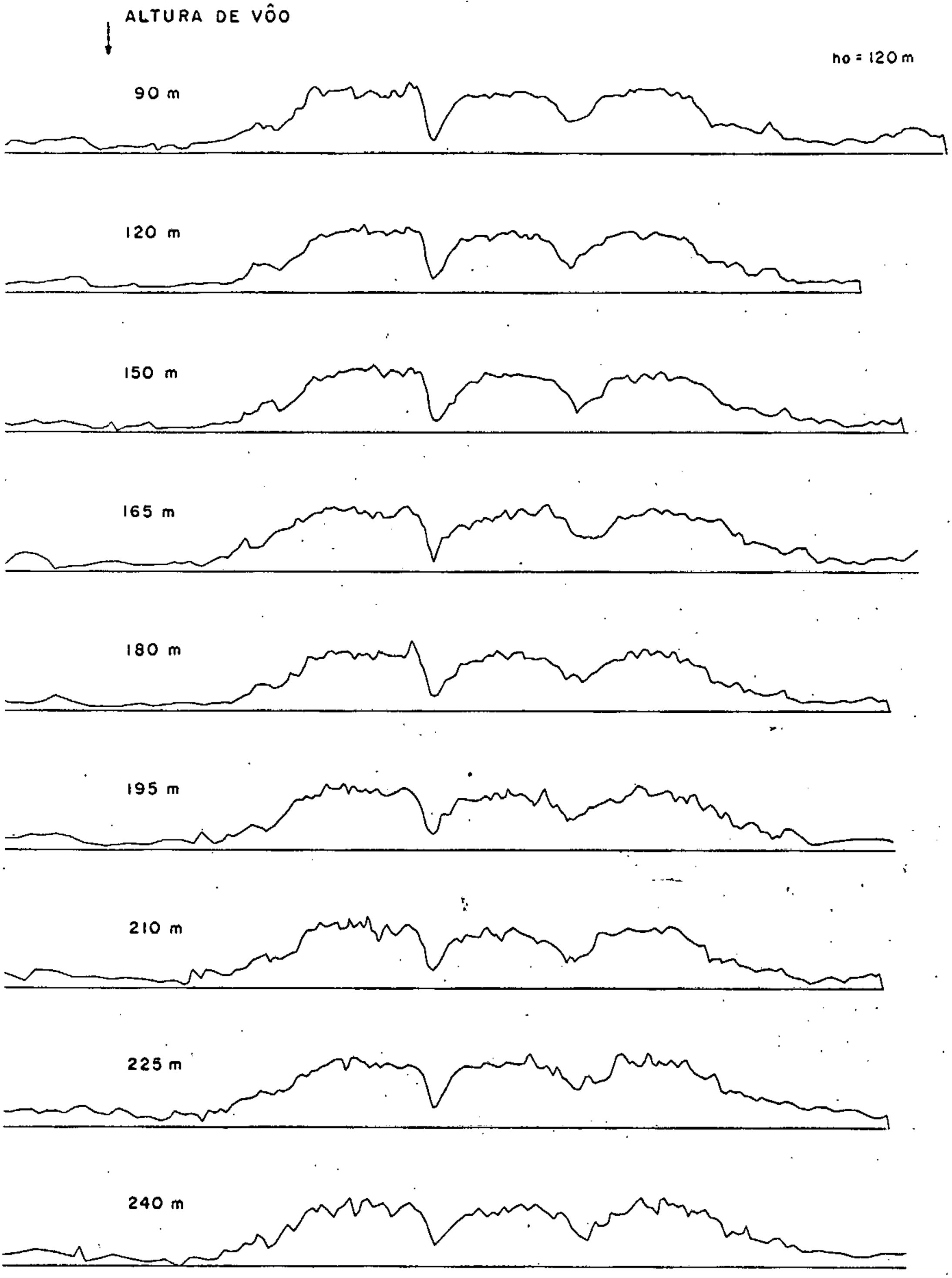
ATENUAÇÃO DA CONTAGEM TOTAL COM O AUMENTO DA ALTURA DE VÔO. O "BACKGROUND" ATMOSFÉRICO FOI SUBTRAÍDO ANTES DO REGISTRO

FIG. 12

PERFÍS NÃO CORRIGIDOS — LINHA 217, FÔLHA SE.22-V-C-VI-I

300m

450m



PROVA DA CORREÇÃO DO EFEITO DA VARIAÇÃO DA ALTURA DE VÔO. PERFIS DE CONTAGEM TOTAL DA FIG. 12, CORRIGIDOS NO COMPUTADOR PARA A ALTURA DE VÔO DE 120m, UTILIZANDO AS MEDIDAS DO ALTÍMETRO DE RADAR

FIG. 13

sultados demonstram a eficiência da fórmu - la de correção de altura empregada.

IV. PROCESSAMENTO E COMPILAÇÃO DOS DADOS DO LEVANTAMENTO

O contrato com a CNEN especificava que as medidas de radiação gama na contagem total deveriam ser corrigidas para a variação de altura, acima e abaixo de 120 m, a altura fixada para o sobrevôo do terreno; e que as mesmas fossem representadas como perfis, ao longo dos traços dos vôos, em material transparente na escala de 1:50.000, sobre os mosaicos. Esta exigência, ademais de atendida, foi complementada com a indicação, nos perfis de contagem total, da fonte da radiação, urânio, tório ou potássio, registrando-se as anomalias nos canais correspondentes.

As especificações do contrato com o DNPM definiam a elaboração de um mapa da intensidade do campo magnético total, com o intervalo básico de 10 e/ou 20 gamas entre curvas isogâmicas.

4.1 - MAPAS DE TRAÇOS DOS VÔOS

As exposições da câmara de posição ou de rastreo foram sendo plotadas nos mosaicos e depois transferidas para transparências em escala 1:50.000. O mapa resultante, indicando o padrão dos vôos, era então utilizado para a compilação dos dados radiométricos e magnéticos. A miniatura da Figura 14, representa uma folha contendo os traços dos vôos, onde também estão indicados os números dos perfis ou linhas de vôo e os das fiduciais da câmara de posição ou de rastreo. Para processar no computador, os dados radiométricos e os traços dos vôos foram digitaliza -

MINIATURA DE MAPA
DE TRAÇOS DOS VÔOS

FÔLHA SE.22-V-A-VI-1 ESCALA 1:200.000

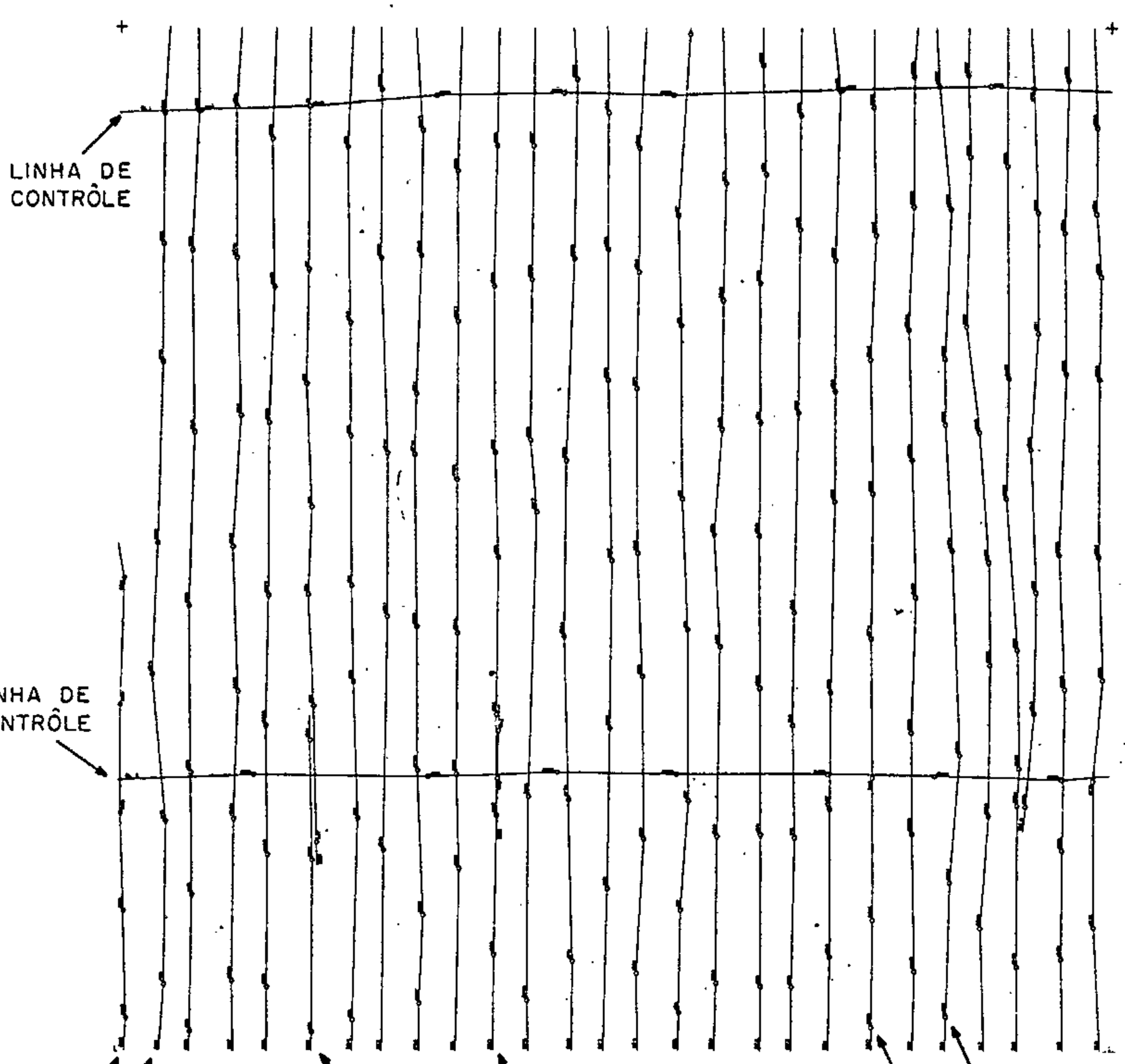
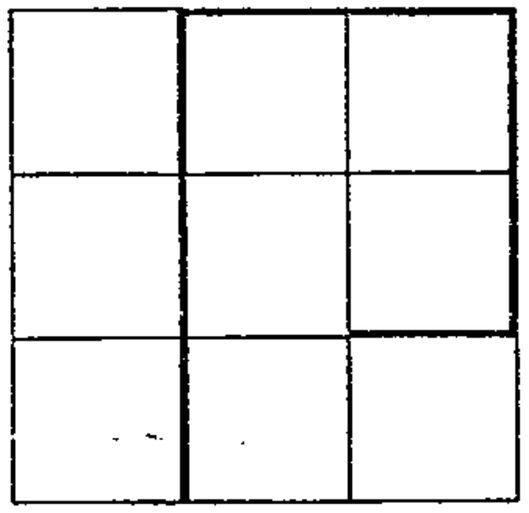


FIG.14



— dos.

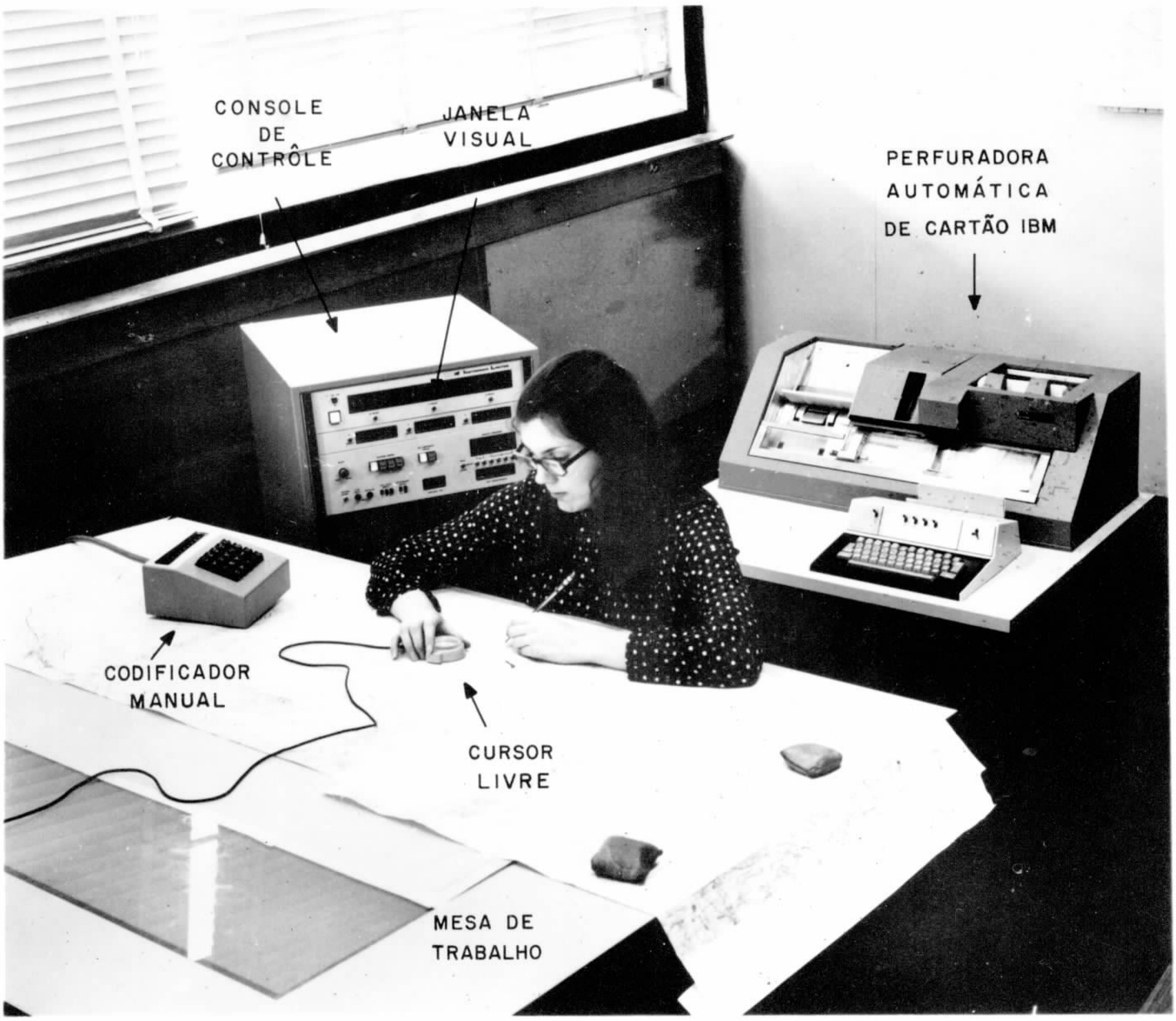
4.2 - PROCESSAMENTO E REDUÇÃO DOS DADOS DO ESPECTRÔMETRO

O processamento no computador digital sistema Univac 1108, desempenhou um importante papel na redução dos dados do espectrômetro. Descrevemos a seguir a sequência de operações:

(1) identificação da fonte: os registros dos canais de urânio, tório e potássio eram examinados para identificar neles a fonte primária e secundária da radiação, em cada anomalia de contagem total reconhecível. Estes elementos, anotados sob a forma de código, ao longo das margens dos gráficos, eram subsequentemente digitalizados.

(2) digitalização dos gráficos do espectrômetro e do rádio-altímetro: o canal de contagem total e os perfis de altura livre sobre o terreno, foram então digitalizados utilizando-se uma modulação de "tempo"; isto é, as posições x e y nos gráficos eram registradas em cartões perfurados a intervalos de um segundo. Ainda mais, cada número e posição das fiduciais da câmara de 35 mm no traço do vôo, o valor da radiação correspondente ao "background" atmosférico (ver Seção 3.6 (b))e a fonte da radiação na contagem total eramtambém registrados em cartões perfurados.

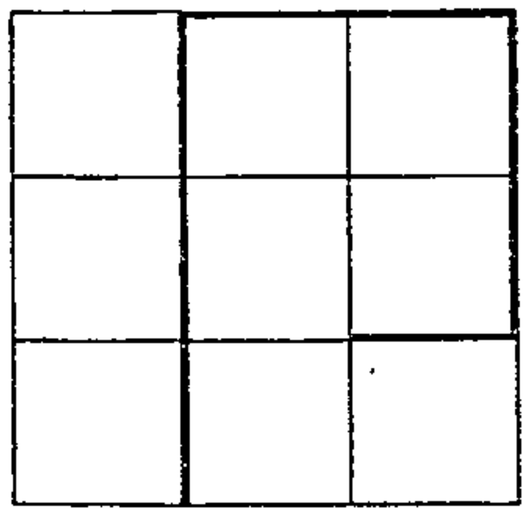
A digitalização empregou o sistema "Gradicon " da Instronics que inclui uma mesa de trabalho com 121,9 x 152,4 cm e que se representa na Figura 15;



EQUIPAMENTO DE DIGITALIZAÇÃO

SISTEMA GRADICON DE CONVERSÃO ANALÓGICA/DIGITAL

FIG. 15



(3) remoção do nível de radiação do "background" atmosférico: de acordo com o valor pré-registrado no gráfico;

(4) correção de altura: utilizando a fórmula de correção adotada (ver Seção 3.6 (d)) os dados da radiação de contagem total foram reduzidos a uma altura comum de 120 m acima do nível médio do terreno:

(5) escala horizontal: os dados digitalizados dos traços de vôo serviram para reduzir todos os perfis a uma escala horizontal verdadeira de 1:50.000;

(6) plotação dos perfis: com um plotador Calcomp de 76,2 cm de largura, os perfis de contagem total residual, corrigidos para a altura pré-fixada de vôo, foram desenhados na escala 1:50.000, sobre os traços individuais de cada vôo.

4.3 - PROCESSAMENTO E COMPILAÇÃO DOS DADOS AEROMAGNÉTICOS

Correção Diurna

Utilizando os filmes de 35 mm da câmara de rastreo ou de posição, determinaram-se, fotogrametricamente, as interseções entre perfis de controle e perfis transversais. Ficaram assim definidos uma série de laços ou circuitos formados pelas interse - ções de perfis transversais e de controle adjacentes, grosseiramente separados pela mesma distância. A soma das diferenças dos valores magnéticos registrados nos perfis transversais e nos de controle, em cada uma das quatro interseções do circuito, foram então computadas. A soma ou "erro de fechamento" ,

foi em seguida distribuido linearmente ao longo do comprimento de cada lado do circuito ou laço. O erro máximo de fechamento do reticulado de circuitos que cobre a área do levantamento atingiu o valor de 25 gamas, num perímetro de 82 km; isto é, cerca de 0,32 gamas/km. A variação magnética diurna observada pelo monitor Gulf Mk. I foi também incorporada à rede no processo de ajustamento. Para cada perfil,o ajustamento se materializa pelo traçado de uma linha de base inclinada a partir da qual se medem os valores. A deriva diurna observada, todavia, foi mínima e facilmente se aproxima de uma variação linear.

Datum Magnético do Campo

Um datum arbitrário de 8.500 gamas foi introduzido na rede, na interseção do perfil transversal 36 com a linha de controle 4.

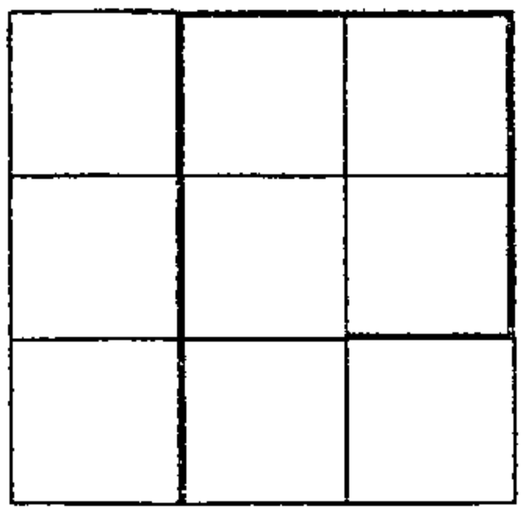
Este ponto serviu como referência ao qual se ligaram todos os "data" das outras linhas anotados nos perfis.

Por referência ao I.G.R.F. (ver Seção 5.1) o nível de 8.500 gamas se identifica com a intensidade total do campo magnético terrestre de 24.500 gamas.

Interseção de Valores e Desenho de Curvas

A determinação, nos perfis magnéticos, das interseções das curvas de 20 gamas relativas ao datum acima - 10 gamas nas áreas de baixo relevo magnético e das posições dos máximos e mínimos das anomalias , fêz-se por processos manuais.

Marcados os pontos de interseção das curvas, as po-



sições dos máximos e mínimos, em relação com as fiduciais da câmara de posição, foram estes então transferidos para os traços dos vôos, nos mapas magnéticos básicos em escala 1:50.000.

O desenho manual das curvas, pela ligação dos pontos com mesmos valores interceptados, fêz-se de modo a obter-se uma representação compatível para as curvas de 20 e 10 gamas.

Mapas de Intensidade Magnética Total

Os desenhos das curvas isogâmicas produziu o Mapa de Intensidade Magnética Total, apresentado na escala horizontal de 1:50.000, abrangendo 44 folhas de mapa.

V. ANÁLISE DOS DADOS GEOFÍSICOS

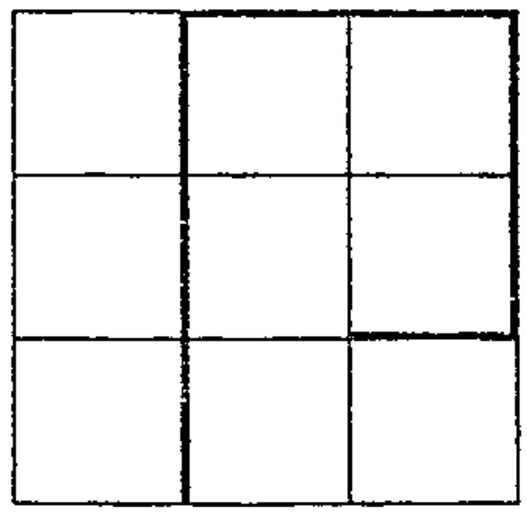
5.1 - ESTATÍSTICAS GEOMAGNÉTICAS

Antes de proceder a uma análise dos padrões das anomalias presentes no mapa de intensidade magnética, fêz-se um exame de caráter geral no Campo Geomagnético, isto é, no campo principal da terra, com relação a sua intensidade, declinação, inclinação e gradiente.

A inclinação, declinação e intensidade do campo principal da terra na área do Projeto Alto Garças, foram determinadas com base no International Geomagnetic Reference Field (I.G.R.F.) adotado pela International Association of Geomagnetism and Aeronomy, outubro 1968.

Os dados utilizados na computação dêste modêlo no campo resultaram de medidas do campo magnético por meio de satélites a grande altura. O campo se expressa em harmônicas esféricas até a ordem oitava e grau.

Programa de computação determina o I.G.R.F. no local do levantamento a partir de uma expansão da harmônica esférica. A entrada no programa do computador consiste de coordenadas, latitude e longitude, altitude do levantamento e data do mesmo. O quadro seguinte sumariza as determinações dos valores estatísticos geomagnéticos em seis pontos dentro da área do levantamento, para uma altitude de 1.100 m acima do nível médio do mar, no ano de 1971.



Longitude / Latitude	53º W	52º W	51º W
17º S	T_E= 24,553 gamas D_E= 11.4º W do N I_E= -10.1º	T_E= 24,514 D_E= 12.2º I_E= -10.7º	T_E= 24,482 D_E= 12-9º I_E= -11.3º
18º S	T_E= 24,389 D_E= 11.2º I_E= -11.8º	T_E= 24,354 D_E= 12.0º I_E= - 12.4º	T_E= 24.325 D_E= 12.8º I_E= -13.0º

T_E - intensidade do campo magnético terrestre em gamas

D_E - declinação

I_E - inclinação

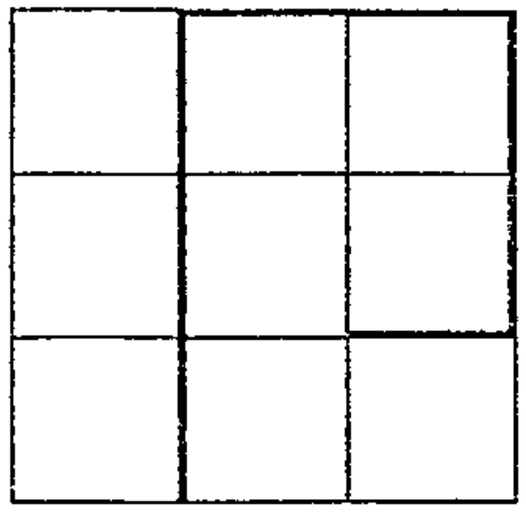
Êstes dados revelam que há um pequeno gradiente na intensidade do campo terrestre, aproximadamente 1,5 gamas/km de sul para norte, e cêrca de 0,3 gamas/km de este para oeste.

Para a área do levantamento, como um bloco, adotamos os seguintes valores geomagnéticos estatísticos:

Intensidade (T_E) = 24.400 gamas

declinação (D_E) = 12º W do N

inclinação (I_E) = 12º acima da horizontal



5.2 - ANÁLISE DAS ANOMALIAS MAGNÉTICAS

Os padrões das anomalias representados no mapa de intensidade magnética total foram analisados para determinar:

(a) tamanho e forma do corpo magnético
(b) profundidade abaixo da superfície
(c) contraste de suscetibilidade
(d) estrutura

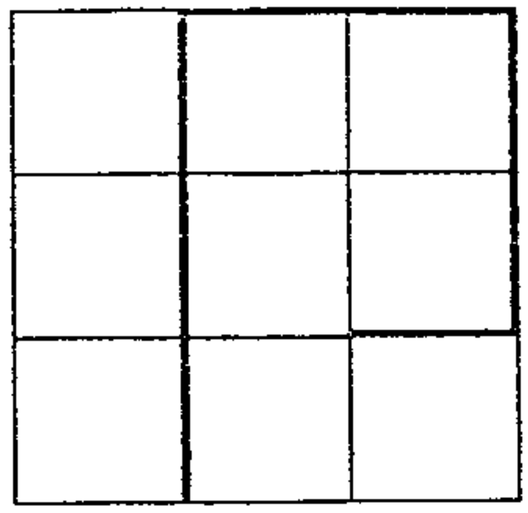
A análise para estimar a forma, a profundidade e o contraste da suscetibilidade seguiu o método descrito por Vacquier e outros (1951). Êste método consiste básicamente em um procedimento gráfico que procura fazer corresponder uma anomalia observada com outra artificial ou sintética, produzida por um modêlo escolhido. O modêlo básico escolhido para a análise foi o prisma, com as seguintes características:

- lados verticais e topo horizontal
- magnetização uniforme dentro do prisma

Significação do Modêlo

O modêlo prismático é recomendado para a análise de anomalias na seguinte situação:

(a) contatos com as zonas magnéticas com forte mergulho, como por exemplo intrusões básicas e zonas gnaissicas;
(b) unidade magnética com espessura maior que a profundidade do seu topo, a partir do magnetômetro, como por exemplo, espessos derrames de lavas.



— As etapas seguidas na execução da análise das anomalias podem ser assim descritas:

(I) Diagramas de anomalias artificiais foram construídos para uma variedade de formas de modêlos, com diferentes larguras, comprimentos e orientações, admitindo-se a inclinação do campo como de -12º e a declinação de 12º W do N. Grande número dêstes diagramas consta do trabalho de Vacquier e outros (1951), os quais foram suplementados por outros, representados na figura 16, obtida por um programa de computação para produzir no plotador Calcomp os diagramas artificiais ou sintéticos.
O programa utiliza uma expressão matemática para o prisma como está descrito no trabalho de Bhattacharyya (1964). Os parâmetros de entrada são intensidade, inclinação e declinação do campo terrestre, bem como o vetor que representa a magnetização do prisma, sua posição, largura, comprimento e profundidade.

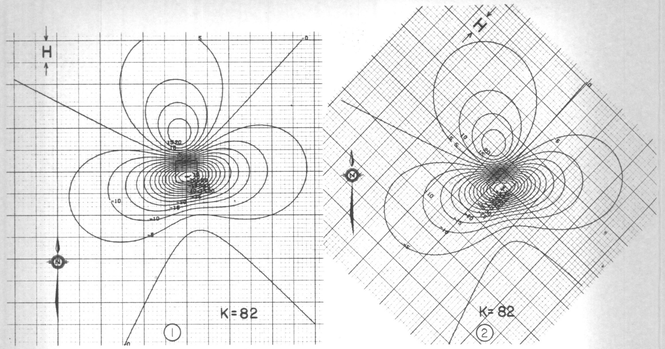
(2) Para cada anomalia observada selecionou-se uma anomalia modêlo no diagrama que aparentava com esta maior semelhança. Com bases nessa comparação, o contorno do modêlo foi desenhado no mapa, para indicar posição, comprimento e largura da "zona magnética" interpretada.

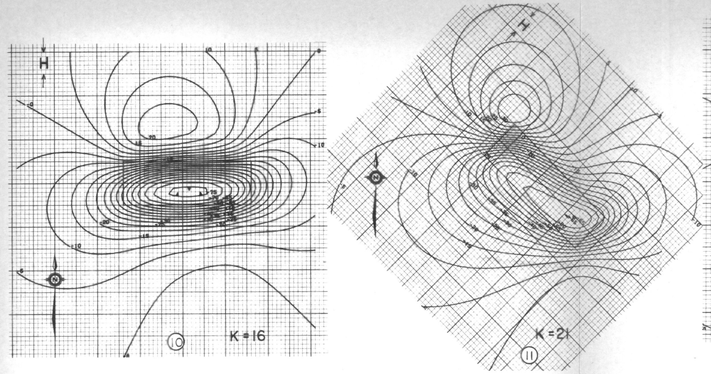
(3) Determinações de profundidade, abaixo da altitude do levantamento resultaram da comparação direta entre o gradiente observado da anomalia e do modêlo.

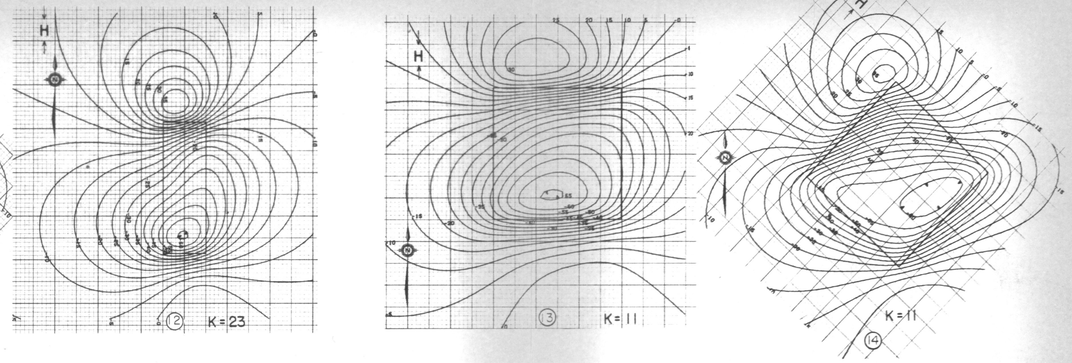
(4) Contrastes da suscetibilidade, foram obtidos pelo emprêgo da relação

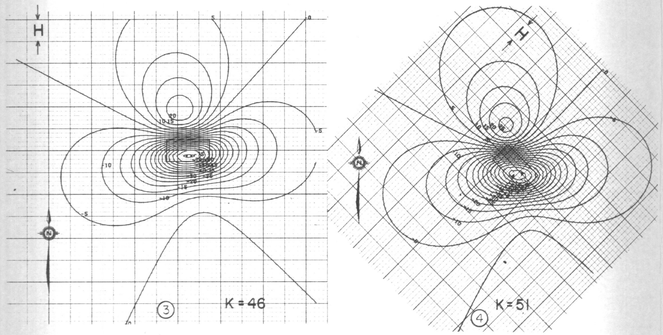
$$K = \frac{1}{T_o} \cdot \frac{\Delta T \text{ obs}}{\Delta T \text{ modêlo}}$$

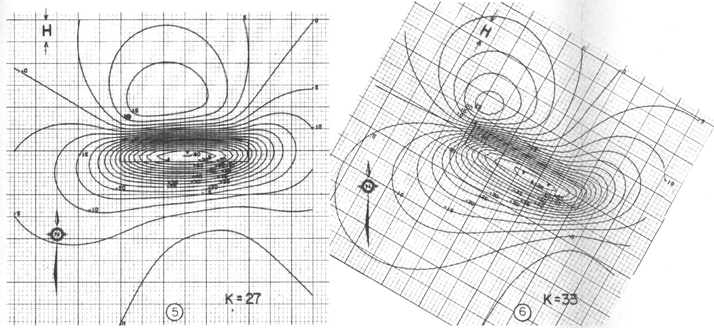
c.g.s. unidade eletromagnéticas

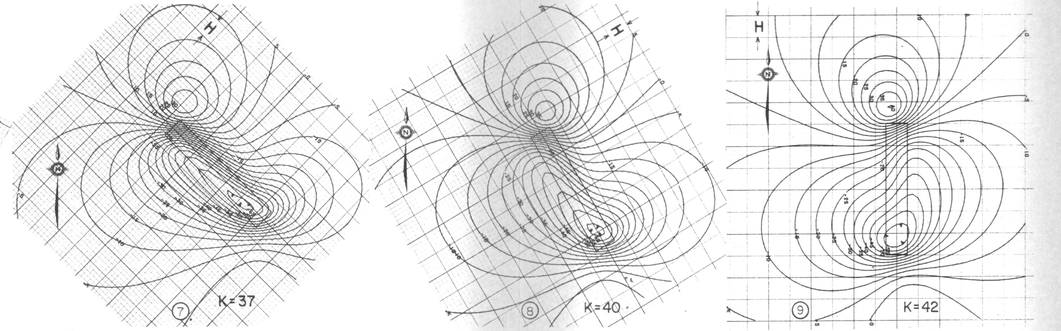












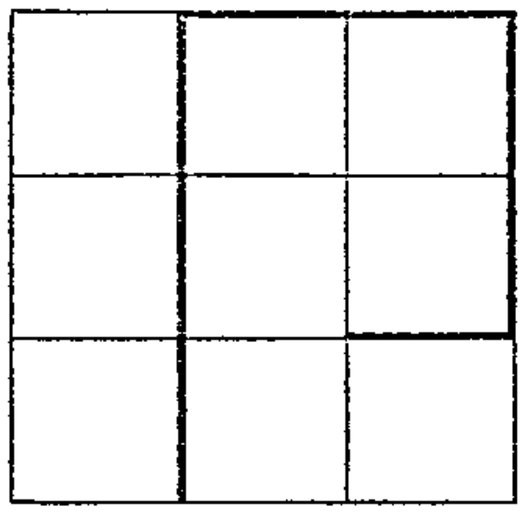
CONTRASTE DE SUSCEPTIBILIDADE = K · DA ANOMALIA (AMPLITUDE EM GAMAS) x 10^{-6} UNIDADES CGS

DIAGRAMAS DE ANOMALIAS MAGNÉTICAS SINTÉTICAS

MODELO: PRISMA VERTICAL

(I = -12°, D = -10°, F = 24,400 γ)

FIG. 16



- T_o= 24.400 gamas, a intensidade do campo magnético terrestre na área do levantamento (ver Seção 5.1)

  ΔT observado, é a amplitude (máximo a mínimo), em gamas, na anomalia observada;

  ΔT do modêlo é a amplitude da anomalia do modêlo.

Em alguns casos o teor em magnetita foi determinado como uma percentagem do volume, utilizando-se uma relação empírica fornecida por Takesi Nagata (1969):

- percentagem do volume de magnetita aproximadamente igual a 600 K

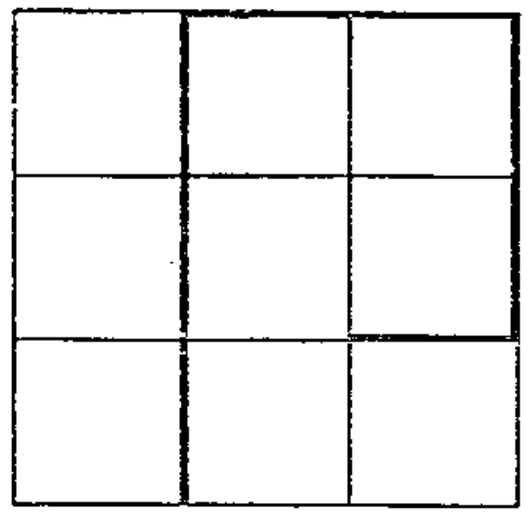
(5) Determinações de profundidade foram ajustadas às altitudes em metros, abaixo do terreno, utilizando-se os registros do altímetro de radar. Os resultados das determinações de profundidade são considerados bons para mais ou menos dez metros.

5.3 - INTERPRETAÇÃO ESTRUTURAL E UNIDADES MAGNÉTICAS

Como indicado na Seção 5.2, a posição, a profundidade, a forma e o contraste de suscetibilidade das " zonas magnéticas" individuais derivaram da análise das anomalias.

UNIDADES MAGNÊTICAS

As áreas que nos mapas magnéticos puderam ser distinguidas em têrmos de profundidade da fonte magnética, lineamento da anomalia, direção e intensidade da magnetização, com base na determinação dos contrastes de suscetibilidade, foram individualizadas para constituirem unidades que receberam o nome de "unidades magnéticas".
A separação, no mapa, de áreas com estas diferenças de magnetização pode ser interpretada como representando



— mudanças na litologia.

IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURA

A descontinuidade aparente ou o deslocamento de zonas magnéticas e um lineamento constante de padrões de anomalias ou de contatos de unidades magnéticas foram atribuídos a falhamentos.

5.4 - ANÁLISE DOS DADOS DO ESPECTRÔMETRO

A análise qualitativa dos dados do espectrômetro teve dois objetivos em mente:

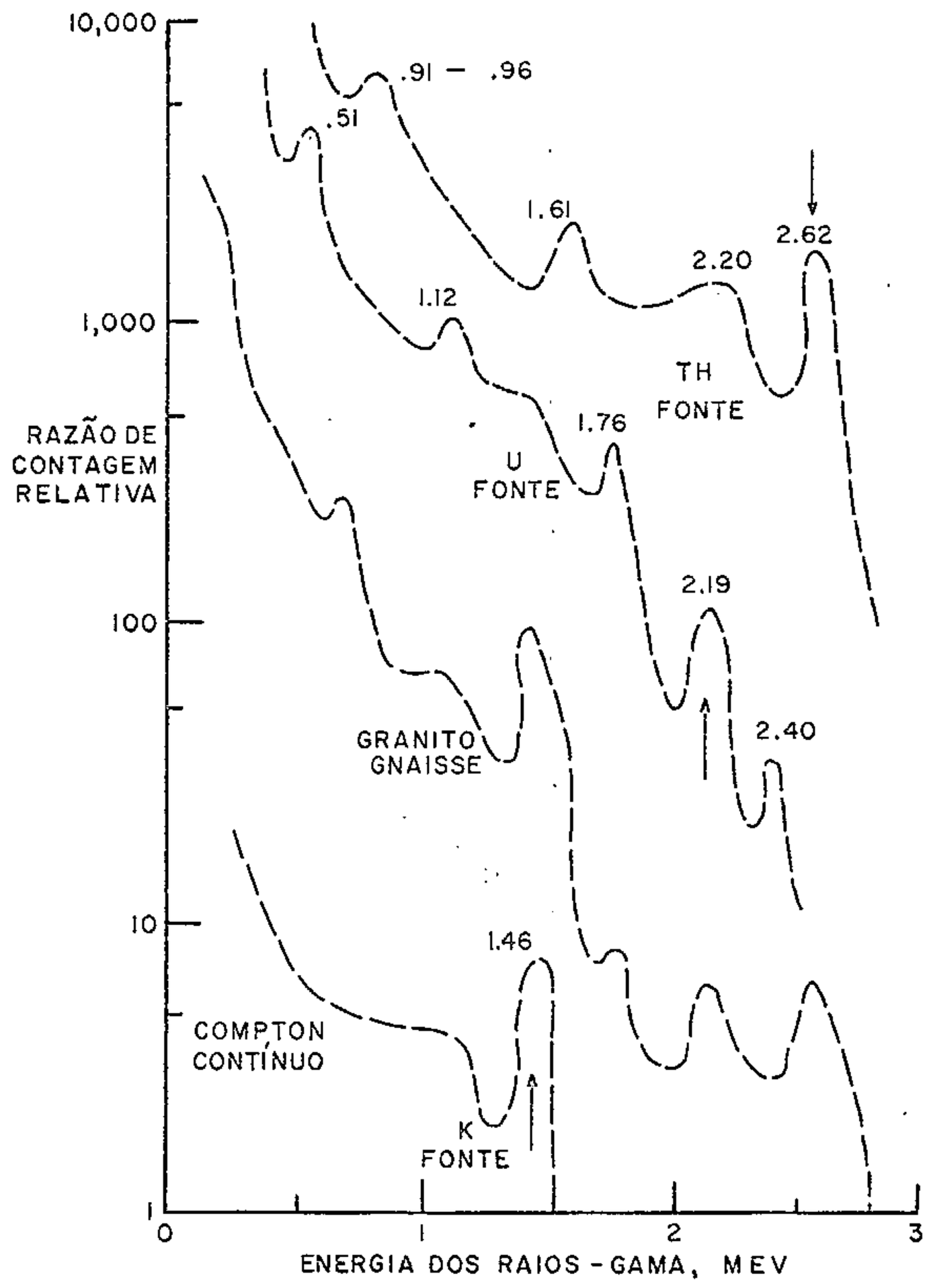
(a) mapeamento geológico: identificar e separar unidades litológicas que são distinguíveis por radioatividade característica; isto é, amplitude da contagem total e identificação da fonte da anomalia do canal, constituindo as "unidades radiométricas";

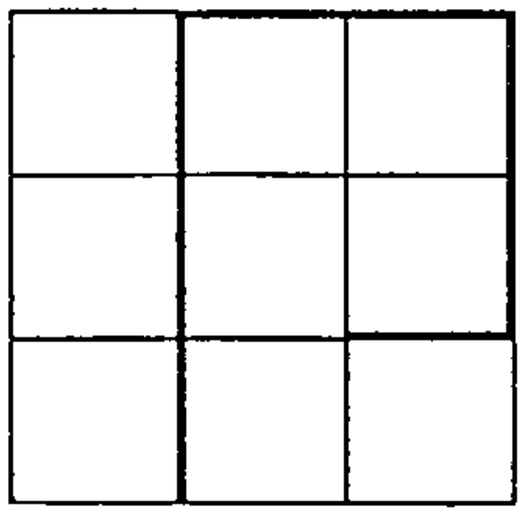
b) prospecção de urânio: identificar zonas de importante mineralização uranífera, relacionando-as com as condições geológicas conhecidas.

Aplicações no Mapeamento Geológico dos Dados do Espectrômetro

Entre os muitos isótopos radioativos que estão presentes nas rochas, sòmente o K^{40} e os membros das séries U e Th, bismuto 214 e tálio 208, respectivamente, são fontes naturais importantes de radiação gama. Cada um dêstes isótopos emite radiação gama em níveis energéticos característicos e, o espectro de raios gamas medidos nas rochas exibe picos de intensidade em níveis energéticos correspondentes a êstes isótopos .

Espectrogramas individuais obtidos de amostras de K, U e Th num afloramento de granito/gnaisse (Doig 1968)





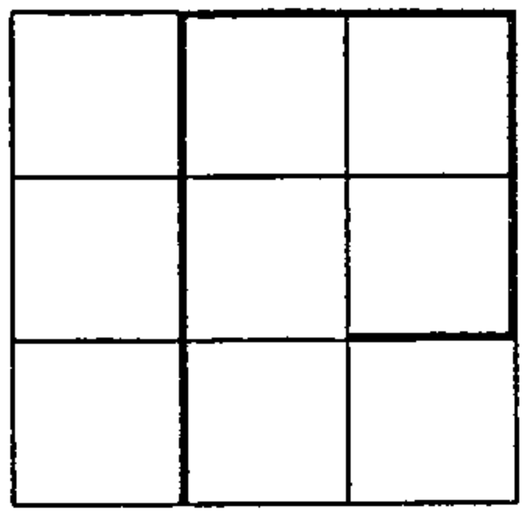
É assim possível relacionar medidas de intensidade em três regiões escolhidas do espectro de raios gama, utilizando um espectfometro aero-transportado para conhecer o teor relativo de K, U, e Th da rocha. De acôrdo com Gregory (1970) rochas vulcânicas básicas e sedimentares,com exceção de certos folhelhos e arenitos especiais, são fracamente radioativas. Folhelhos pretos orgânicos e arenitos arcosianos podem apresentar alta radioatividade. Granitos e pegmatitos variam muito, ora exibem radioatividade moderada, ora alta, dependendo do teor de potásssio e aumentando com êste. Para solos residuais e rochas in - temperisadas, a atividade varia com a natureza da rocha original e da intensidade da lixiviação. As seguintes generalizações podem ser feitas (Kellog 1968) para a radioatividade relativa de alguns tipos de rochas:

rocha	atividade relativa	radiação dominante
granito	alta	K^{40}
folhelho	alta	U
arenito	moderada e alta	K^{40}
calcário	baixa e moderada	U
basalto	baixa	K,U,Th,iguais

Estas generalizações devem ser sômente utilizadas como orientação no uso do espectrômetro para mapeamento geológico.

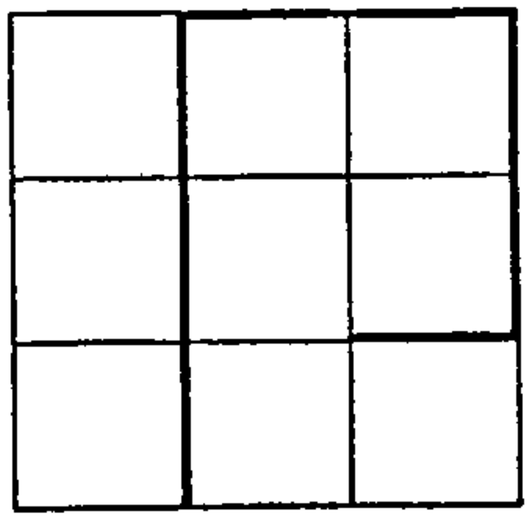
Unidades Radiométricas

Áreas do mapa radiométrico que puderam ser distinguidas, em termos de intensidade da radiação da contagem total corrigida, nos perfis radiométricos como radiação despre-



sível, baixa, média e alta, e fonte de radiação, K, U e Th, foram delineadas e designadas como "unidades radiométricas". Esta divisão da área do mapa de acordo com diferenças no contraste radiométrico sugere mudanças na litologia.

Utilizando como material de trabalho os mapas em escala 1:50.000 dos perfis de contagem total corrigidos, cada perfil individual foi dividido em seções com base nas mudanças na fonte de radiação, inclusive nos registros dos canais dos tres elementos. Um código de cores foi então empregado para identificar a fonte de radiação. Para facilitar a referência, a litologia presente nos mapas do prof. Fernando de Almeida em 1:100.000, foi transferida para os mapas radiométricos em escala 1:50.000.



VI. INTERPRETAÇÃO

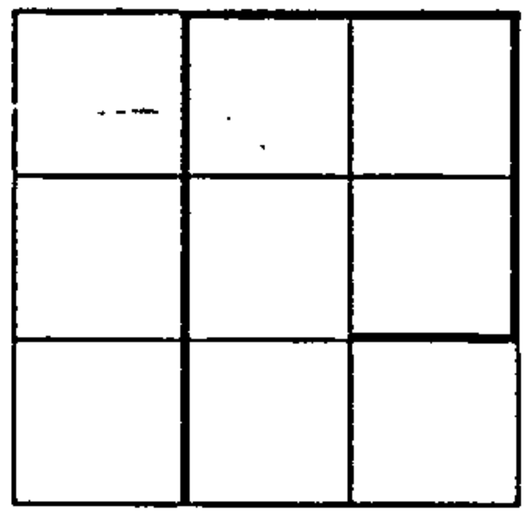
Pelo emprego dos métodos descritos no Capítulo V, fêz-se uma análise dos dados radiométricos e magnéticos, cujos resultados são apresentados em duas coleções de mapas de interpretação, em escala 1:100.000, abrangendo cada uma quatro folhas obtidas grupando-se de forma conveniente as folhas em 1:50.000, sem respeito ao corte geológico padrão para esta escala, conforme antes foi referido, a fim de evitar um número excessivo de folhas.

A Figura 17, se compõe de 4 folhas de mapa em escala 1:100.000, com a interpretação magnética. Na Figura 18 os mesmos mapas em escala 1:250.000 estão reunidos em uma só folha.

Figura 19, quatro folhas de mapa em escala 1:100.000, contêm a interpretação radiométrica; enquanto a Figura 20,em escala 1:250.000, consta de uma só folha de mapa com a mesma interpretação.

Nas seções de 1 a 5 deste Capítulo apresentamos uma descrição da interpretação das ocorrências e discutimos o significado geológico das mesmas, folha por folha.

Os símbolos e anotações que aparecem nos mapas de interpretação são aqui repetidos para uma melhor familiariza - ção do leitor com os seus significados.



INTERPRETAÇÃO MAGNÉTICA

Mapas das figuras 17 e 18

Análise da Anomalia

-100 (m)

Profundidade da zona magnética abaixo da superfície

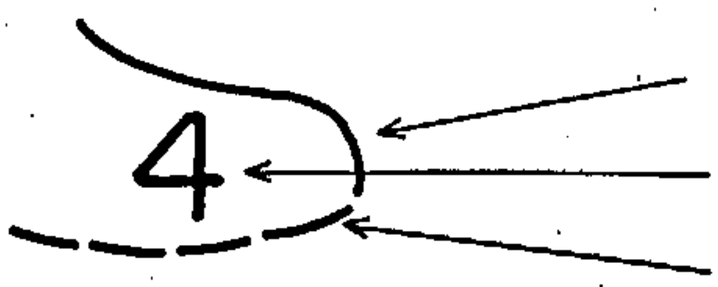
●

centro da zona magnética

k = 4 000

contraste de suscetibilidade em 10^{-6} unidades cgs

Unidade Magnética

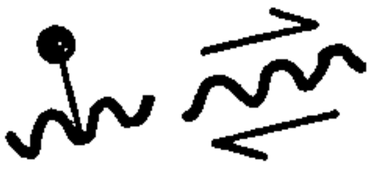


limite da unidade magnética

identificação da unidade magnética

limite da unidade magnética, aproximado ou inferido

Falha Magnética



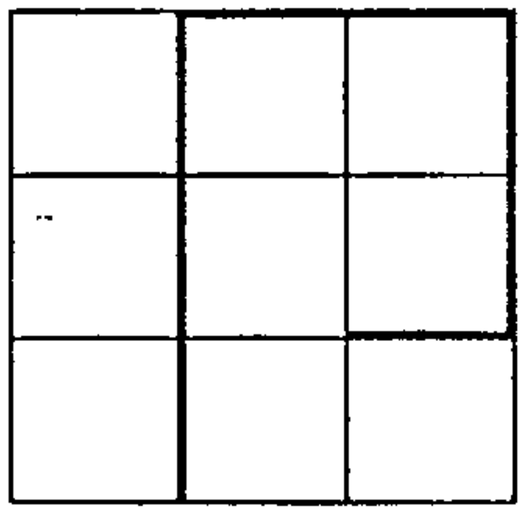
direção do movimento horizontal e vertical.

Dique Interpretado

Intrusiva Básica Interpretada

duplo círculo indica notável expressão radiométrica presente na unidade

Intrusiva básica sem expressão radiométrica



...1600..

Limite do vulcanismo da Serra Geral

Espessura dos sedimentos/profundidade do embasamento em metros, abaixo da superfície.

....400...

Profundiades referidas ao vulcanismo da Serra Geral

Local recomendado para investigação detalhada

G

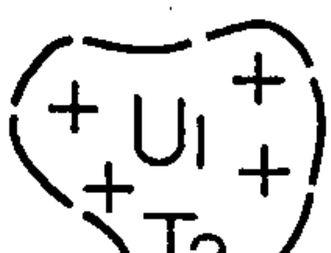
Unidade magnética com expressão geológica

INTERPRETAÇÃO RADIOMÉTRICA

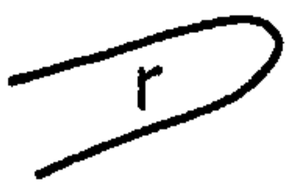
Mapas das figuras 19 e 20

Unidade Radiométrica

- identificação da unidade e indicação da contribuição relativa de cada canal do espectrômetro, em ordem de importância. Limite interrompido quando mal definido.

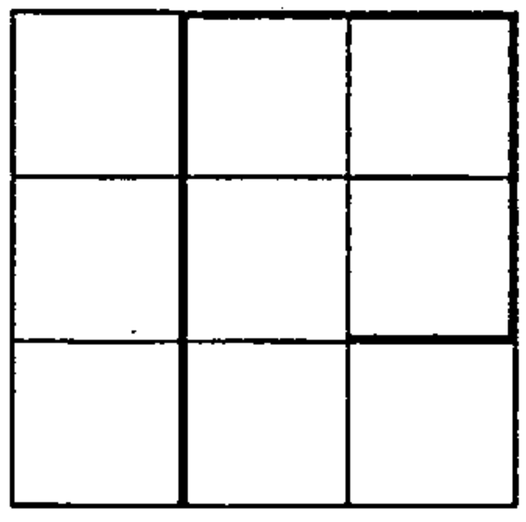


- unidade onde predomina a radiação do canal do urânio.



Zona de Supressão - radiação correlacionável com vales.

Intrusiva básica, com expressão radiométrica



Local Recomendado para Investigação Detalhada

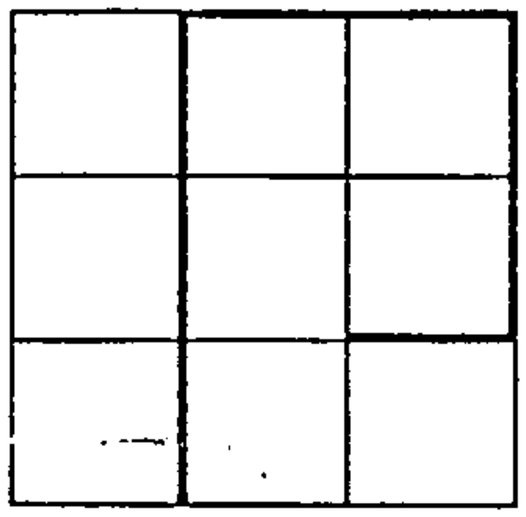
G Unidade Radiométrica com expressão geológica

As seguintes abreviações foram empregadas na discussão que se segue para simplificar as referências:

SG - Serra Geral

B/SG - Botucatu e vulcanitos da Serra Geral, indiviso

C/B - Formações Cachoeirinha e Bauru, indivisas



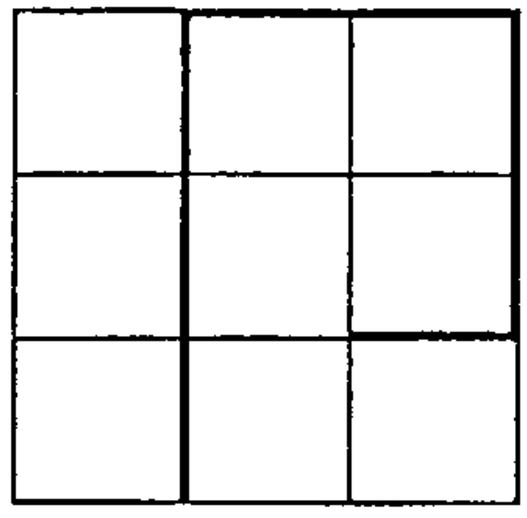
6.1 - FOLHA 1

Interpretação Magnética: Unidades Magnéticas e Estrutura

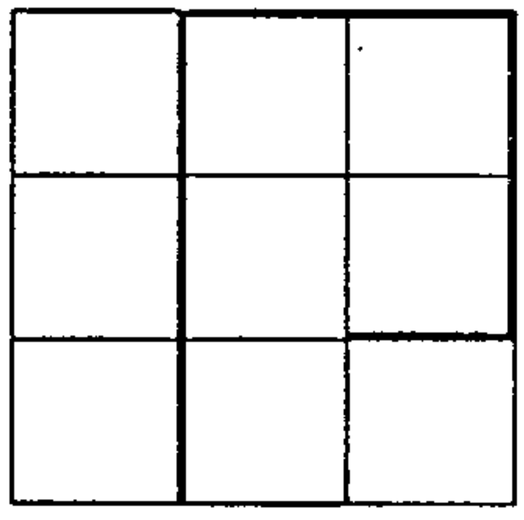
Unidade 1: no terço norte da folha do mapa, aparecem áreas de anomalias de fraca amplitude que se originam de magnetização a profundidades de 500 a 1800 m abaixo da superfície, onde estas anomalias podem ser separadas de outras de origem menos profunda, cómo as extrusivas da Serra Geral. Os fracos contrastes de suscetibilidade determinados para estas anomalias, por exemplo, k=800/1100 x 10^{-6} cgs (percentagem de magnetita da ordem de 0,5%) refletem fraca magnetização ou o teor de magnetita dos filitos que constituem, principalmente, o embasamento pré-cambriano.

Pode-se distinguir um número de anomalias tipo dique que são orientadas segundo E-W ou em menor número NW-SE, dentro dos limites da Unidade 1, por causa de profundidades menores e anomalias tipo dique associadas com elas, até 50 m a partir da superfície. Os diques provavelmente são relacionáveis aos vulcanitos da Serra Geral e representam uma fase intrusiva deste vulcanismo.

Unidades 2, 2_a, 3, 4 e 8: aproximadamente metade desta folha se caracteriza por uma dispersão de anomalias de grande intensidade, por exemplo 500 a 2000 gamas, de contraste bem



definido, que são relacionáveis aos vulcanitos da Serra Geral. Variações da susceptibilidade dentro de unidade 2, mais intensamente magnética, aproximam-se da faixa de 10.000 a mais de 40.000 x 10^{-6} cgs - um conteúdo de magnetita variando de 5 a 25%, de acordo com Nagata (1969). As anomalias são geralmente orientadas segundo uma direção E-W a ENE-WSW. Esta lineação ou zoneamento pode ser relacionada a uma "estratificação" dos vulcanitos e folheação resultante da deformação que acompanhou a subsidência da Bacia do Paraná para sul. Decréscimos na magnetização dentro da área abrangida pelos vulcanitos podem ser definidos e foram separados nas sub-unidades 2a, 3, 4 e 8, em ordem de magnetização decrescente. Tal sub-divisão pode ser um tanto artificial na medida em que provavelmente reflete: (a) acréscimo de profundidade dos vulcanitos abaixo da superfície em direção à margem sul da folha; (b) falta de relevo na parte superior dos vulcanitos. Todavia, nas partes ocidentais da folha e também ao longo da margem norte dos vulcanitos, um decréscimo notável na amplitude das anomalias, nas áreas delineadas pelas unidades 4 e 8, sugere ou um afinamento dos vulcanitos, ou que as anomalias têm origem nos sills da parte



superior da Formação Aquidauana ou na base da seção permiana.

Unidade 3a: Compõe esta unidade uma série de anomalias bastante estreitas, alongadas, estende-se em direção E-W, a partir da Unidade 2a.

Unidade 8: Abrange áreas na parte norte-central da Folha onde padrões de anomalias de fraca amplitude, sugerem a presença de cobertura de vulcanitos da Serra Geral,pouco espessos.

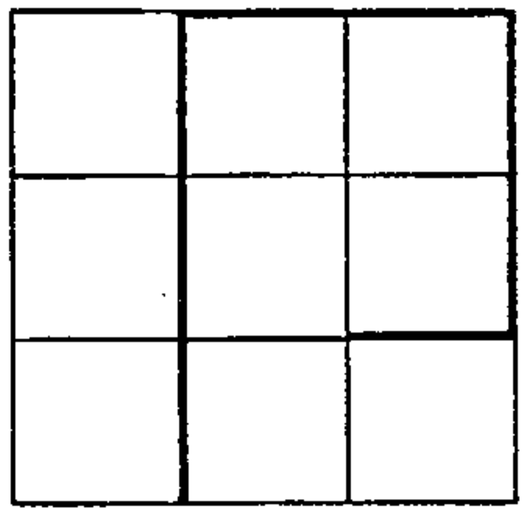
Unidade 100: delimita a feição magnética mais espetacular do levantamento. Com uma amplitude que excede 13.000 gamas foi batisada de "Anomalia Santana". Um teor de magnetita da ordem de 40% pode ser estimado a partir do contraste de suscetibilidade de 143.000 x 10^{-6} cgs para a intrusiva.

A anomalia pode, com muita probabilidade , ser considerada como tendo origem numa intrusiva básica. Determinações de profundidade colocam a intrusiva a 100/150 m abaixo da superfície, imediatamente sob a Formação Bauru. A intrusiva se considera como do Cretáceo Superior, em contraposição a idade Cretácea Inferior atribuível aos vulcanitos da Serra Geral, que ocorrem a sul e sudeste. De especial interesse é a radioatividade uranífera, da unidade U_1T_2 (Figura 19), numa faixa ao longo do bordo sul da intrusiva. A circulação de água subterrânea pode ser responsável pelo

aparecimento na superfície desta radioatividade relacionável a uma intrusiva que está a 100 m de profundidade. Uma investigação desta radioatividade no terreno é altamente recomendável.

O alto teor de magnetita, estimado em 40%, pode despertar interesse nesta intrusiva como provável depósito de minério de ferro; todavia, sua profundidade de jazimento diminui a significação econômica do depósito. A possibilidade de outras formas de mineralização de metais básicos associadas com a intrusiva conduz a recomendação de uma investigação da zona da anomalia, por exemplo, através um levantamento eletromagnético de baixa frequência.

Unidade 101 - 171: dentro da unidade delineada, abaixo dos vulcanitos da Serra Geral, e também em sete outras localidades para norte do bordo interpretado dos vulcanitos, anomalias magnéticas de grande amplitude e de caráter bem distinto foram individualizadas. Estas anomalias são geralmente de pequeno tamanho, variando de 3 a menos de 1 quilômetro de diâmetro, usualmente expressas em apenas uma única linha do levantamento. Tais anomalias são aqui interpretadas como causadas por intrusivas de forma circular que se caracterizam por uma grande amplitude, por exemplo, acima de 4.000 gamas (Unida



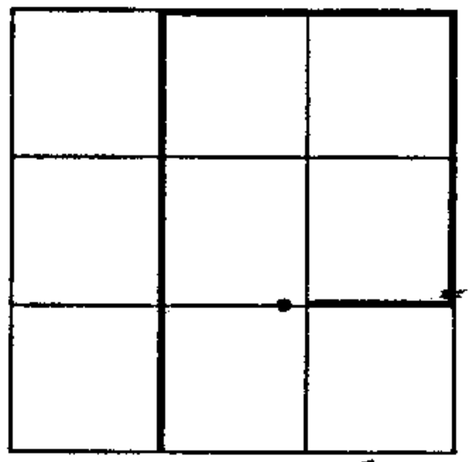
de 101) e consequentemente alto contraste de suscetibilidade, 10.000 a 40.000 x 10^{-6} cgs (6 a 25% de magnetita). Exibem expressão radiométrica acentuada e, além do mais, notável grau de magnetização remanente: isto é, magnetização em direção diferente daquela do campo magnético total da terra.

As intrusivas identificadas no mapa magnético estão descritas em termos de suas locações, relevo magnético, diâmetro e expressão radiométrica associada, na tabela que se segue.

A maioria das intrusivas tem expressão radiométrica perfeitamente distinta, maiormente no canal de tório, com algumas exceções significativas de radiação alta proveniente do potássio nas Unidades 101, 116, 117; e radiação uranífera associada com as unidades 124, 136, 150 e 151. As intrusivas estão geralmente dentro de 100 m do nível da superfície; todavia suas expressões radiométricas certamente ocorrem a profundidades menores, em alguns casos a poucos metros abaixo do terreno.

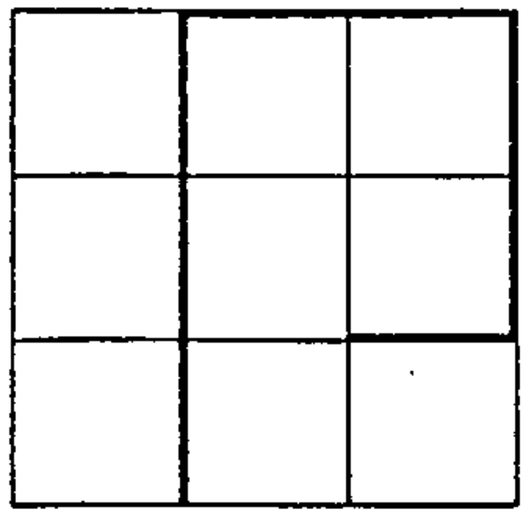
As intrusivas, quando indicadas como merecedoras de recomendação no mapa, devem ser posteriormente investigadas para uma avaliação do potencial econômico das mesmas.

Podem pertencer a uma sub-família dos carbonatitos que ocorrem irregularmente distri-



Unidade Magnética	Amplitude Gamas	Diâmetro Km	POSIÇÃO Perfil Nº	Fiduciais Próximas	CARACTERÍSTICAS RADIOMÉTRICAS Contagem Total Amplitude cps	Th cps	U cps	K cps
INTRUSIVAS DE GRANDE DIÂMETRO								
101	4000	2,5	40	10192 10153	700	20	15	65
102	1500	2,5	44	2979 2939	400	10	15	20
103	2200	2,0	29	625 651	200	-	10	20
104	1660	2,8	27	a 1854	800	10	10	-
105	2680	2,7	42	a 1461	300	15	-	10
105a	2200	1,3	44	3381 3343	150	10	-	10
107	940	2,5	38	8932 8905	200	10	-	5
106	2040	2,0	52	4328 4304	400	20	-	5
108	1520	2,0	28	3004 2976	400	10	10	-
109	2160	1,5	17	2234 2175	suprimida			
110	2120	2,5	52	4532 4485	300	15	10	-
112	800	1,7	68	1283 1214	sem expressão			
113	520	1,7	79	5542 5612	500	20	10	5
114	180	1,8	87	a 2045	400	15	10	15
115	2400	1,2	66	a 3130	200	15	5	-
116	2000	1,8	66	2987 2940	600	10	10	85
117	210	4,0	149	a 1411	300	-	10	30
INTRUSIVAS DE PEQUENO DIÂMETRO								
120	340	1,0	3		200	15	10	-
122	500	1,3	7		150	10	-	-
123	500	1,3	18		500	15	-	5
124	1000	1,3	17		200	15	20	-
126	660	1,0	32		300	15	5	-
130	640	1,8	20		150	10	-	-
131	1300	1,5	22		200	10	-	-
132	1200	1,3	30		250	20	-	-
135	1040	0,8	44		500	15	10	-

	POSIÇÃO			CARACTERÍSTICAS RADIOMÉTRICAS			
Unidade Magnética	Amplitude Gamas	Diâmetro Km	Perfil Nº	Fiduciais Próximas	Contagem Total Amplitude cps	Th cps	U cps	K cps
136	1300	1,1	54	a 1124	500	15	20	-
136a	1180	1,1	55	2283 1413	250	15	10	-
136b	300	0 ,5	57	631 662	150	-	-	-
137	840	1,0	72	a 4405	300	15	10	-
138	1700	1,1	52	4276 4246	150	10	-	10
139	1240	1,0	56	3084 3055	200	5	5	-
140	840	1,1	59	a 2225	150	15	15	-
141	1320	0,9	67	66 119	200	15	-	-
142	280	0,7	80	a 6630	250	20	-	-
143	1460	1,0	74	1373 1330	450	25	5	-
144	1200	1,0	78	a 4951	400	15	-	-
147	1120	1,1	71	2891 2848	300	15	-	-
148	1160	1,4	70	3518 3563	250	10	-	-
149	1120	1,2	59	2061 2095	400	20	10	-
150	1820	1,2	63	285 324	150	10	15	-
151	1220	1,2	63	a 285	150	10	15	-
152	620	1,2	48	978 935	250	15	-	-
153	1220	0,9	40	10837 10791	150	-	10	-
154	2000	1,2	55	a 2007	150	10	-	5
155	1700	1,4	58	1573 1539	400	20	10	-
156	1100	1,6	59	a 1960	300	10	-	-
157	420	1,6	59	a 1920	300	15	-	-
158	1340	1,3	63	202 240	200	5	-	5
158a	1300	1,0	65	a 2050	150	10	-	-
161	340	1,1	73	143 190	600	25	-	-
162	1000	1,1	69	1568 1634	s e m e x p r e s s ã o			
163	400	1,1	70	3332 3380	500	10	-	-
164	520	1,4	67	a 3668	600	25	15	-
166	450	1,4	129	219 257	400	15	10	-
167	450	1,1	136	2125 2177	400	15	5	-
169	580	0,9	56	3449 3418	300	20	-	
171	220	1,3	67	3686 3737	500	25	-	-



buidos ao longo do bordo da Bacia do Paraná.

Interpretação Radiométrica

Cachoeirinha/Bauru

Os lateritos da Formação Cachoeirinha do Terciário , juntamente com a Formação Bauru do Cretáceo Superior, arenitos continentais, caracterizam-se por uma alta radiação no canal de contagem total; notadamente radiação proveniente do tório, com urânio em menor proporção; unidades T_1, T_1U_2, T_1U_3 (ver Figura 21). Esta forma de radiação domina nesta folha, bem como na folha 2 e na parte oriental da folha 3, numa faixa larga de orientação este-oeste. Radiação proveniente do tório também se associa com os basaltos mais antigos; o que sugere a hipótese de ser a radioatividade de mesma origem no Bauru, derivada da erosão ou intemperismo químico das rochas da Serra Geral, posteriormente enriquecida no Cachoeirinha.

A expressão radiométrica das unidades litológicas acima é secionada por uma série de zonas estreitas alongadas, com direção E-W, com fraca ou nenhuma radiação. A supressão nestas zonas é provavelmente devida a presença de água e dos arenitos Botucatu, que são escassos em minerais radioativos. Como indicamos na interpretação magnética, a cobertura dos lateritos e da Formação Bauru sobre os vulcanitos nesta área é pouco expessa, da ordem de 50 m.

Alguma radioatividade uranífera aparece associada com a presença do Bauru na parte central e sudoeste des-

100 cps
100 cps
100 cps
2000 cps
2000 cps
300 m
0

POTÁSSIO - K
URÂNIO - U
TÓRIO - T
CONTAGEM TOTAL
CONTAGEM TOTAL/
ALTURA CORRIGIDA
ALTIMETRO

LINHA 78

EXEMPLO DE CORRELAÇÃO RADIOMÉTRICA / GEOLÓGICA

K
U
T

LINHA 76

0 10 20 30 km

K
U
T

LINHA 74

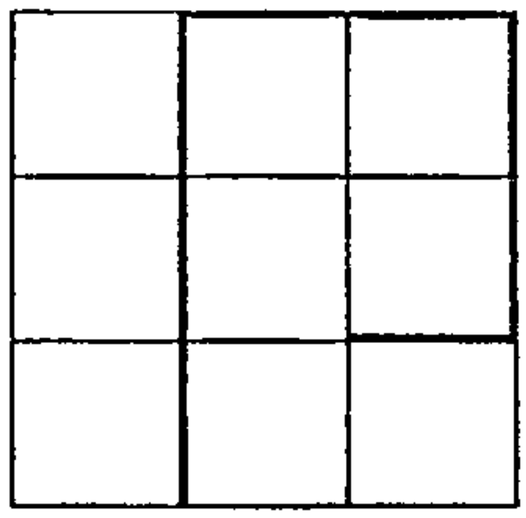
BOTUCATU (?)

CACHOEIRINHA / BAURU

AQUIDAUANA SUPERIOR

ARENITO AQUIDAUANA

FIG. 21



ta Folha: Unidades U_1T_2, U_2T_2 e U_2T_3. Esta radioatividade pode ser relacionada a um membro argiloso da Formação Bauru.

Formações Permianas

A expressão radiométrica do permiano indiviso, folhelhos e siltitos, compõe-se de radioatividade alta no canal do potássio e alguma radioatividade uranífera, Unidades K_1 e U_3. Aproximadamente, 10 km para noroeste de Montividiu, esta radioatividade corresponde ao permiano indiviso geologicamente mapeado. O permiano se expõe normalmente, quando Cachoeirinha, Bauru e Serra Geral estão erodidos.

Formação Aquidauana

Radioatividade baixa a moderadamente alta, principalmente originada do potássio, caracteriza a Formação Aquidauana; Unidades K_1 e K_2. Assim se distinguem os arenitos e arcósios na parte noroeste desta folha. Uma transição de arenitos para arcósios, na parte superior desta formação, pode ser responsável por um incremento na radioatividade da contagem total em direção ao bordo sul desta formação.

O contato entre a Formação Aquidauana e formações mais recentes, Cachoeirinha, é muito bem definido ao longo da fronteira entre as unidades radiométricas potássicas e unidades radiométricas toríferas.

Vulcanitos da Serra Geral e Intrusivas Básicas

Radiação torífera associada com alguma radiação prove-

niente do urânio, aparenta estar relacionada com a presença dos vulcanitos. Um certo número de zonas distinguíveis por uma radioatividade uranífera acima do normal, Unidades U_1T_2, U_2T_2 e U_3T_3, distribuidas pela extremidade leste desta folha, são identificadas com o vulcanismo.

Embora vulcanitos basálticos e outras variedades sejam comumente associáveis com radioatividade torífera e uranífera, nenhum depósito de importância econômica foi até hoje explorado; todavia, cinco locais onde radioatividade uranífera substancial está presente, foram selecionados para investigações no terreno.

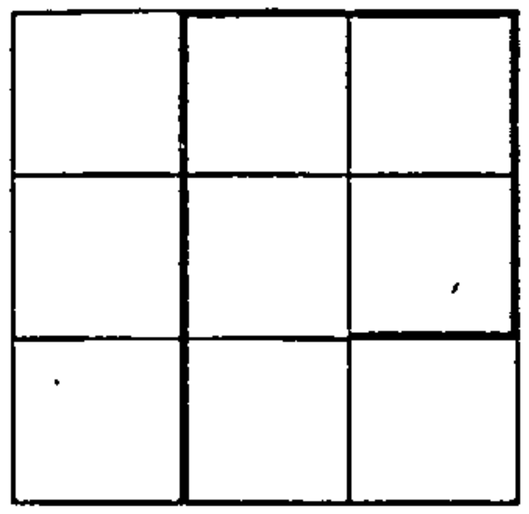
Referimo-nos anteriormente, quando tratamos dos dados magnéticos, a intrusivas básicas com 1 a 3 km de diâmetro que estão associadas com radioatividade apreciável. Destas, as Unidades 101, 102, 116, 136 e 164, mostram maiores expressões radiométricas e figuram nos mapas de interpretação radiométrica para fins de referência e destaque.

Anomalia de Santana

De interesse considerável é a zona de radioatividade uranífera, Unidade U_1T_2, que se localiza no vértice sul da intrusiva de Santana. Urânio, tanto como tório, são característicos na radioatividade associada aos carbonatitos no Brasil. A expressão radiométrica que se relaciona com a intrusiva é surpreendente em face da profundidade de 100 m a que se acha a mesma abaixo da superfície.

6.2 - FOLHA 2

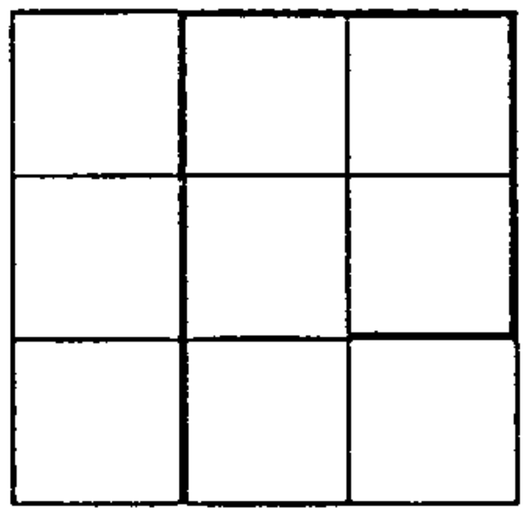
Interpretação Magnética, Unidades Magnéticas e



Estrutura

Unidade 1: nos setores nordeste e noroeste dessa folha de mapa são delineadas áreas com virtualmente nenhum relevo magnético e que constituem a Unidade 1. Estas áreas são provavelmente desprovidas de cobertura vulcânica: todavia há, insuficiente definição de padrão da anomalia para permitir determinação de profundidades ao pré-Cambriano.

Unidades 2, 2a, 3, 4 e 8: as rochas ígneas da Serra Geral são magneticamente caracterizáveis sôbre a quase totalidade desta folha, com exceção do setor nordeste. A espessa cobertura de vulcanitos parece ser bem desenvolvida na parte sul-central da folha, onde áreas de anomalias magnéticas intensas são delineadas como Unidade 2. O decréscimo da espessura dos vulcanitos ou a transição para sills menos intensamente magnéticos pode explicar o relevo magnético mais suave nas Unidades 2a, 3 e 4. A Unidade 8 define áreas de anomalias dispersas com amplitude comparativamente baixa, isto é, 20 a 50 gamas, quando comparadas com 200 a 1000 gamas das anomalias distribuidas nas Unidades 2 e 2a, que podem estar associadas com a erosão dos vulcanitos até uma capa pouco espessa. As lineações



das anomalias exibem uma textura orientada E-W até NE-SW, na metade sul dessa folha magnética.

Uma série de áreas de forte relevo magnético são delineadas pelas Unidades 2a e 3, em direção a margem norte da folha. A Serra Geral se distribui nesta folha mais para o norte do que em qualquer outra da área do Projeto.

Unidade 5: uma "camada" mais profundamente sepultada de extrusivas ou intrusivas, se evidencia pelos números que representam as determinações de profundidade, 400 até 700 m abaixo da superfície; particularmente, numa extensa área das partes centrais da folha de mapa. Os contornos de profundidade exibem um padrão sinusoidal que se reflete nas feições maiores do mapa de interpretação radiométrica. Um "alto" mergulhando para sudoeste, "Alto de Mineiros", torna-se evidente, na parte este-central do mapa, pela presença de contornos com 400, 500, 600 e 700 m.

Unidades 117, 166 e 167: delineam zonas um tanto circulares de intensa magnetização que são interpretadas (ver discussão da folha 1), como possíveis intrusivas básicas. A Unidade 117 se distingue por magnetização remanente, isto é, o alto normalmente pouco acentuado da anomalia, que é carac

terístico, apresenta-se completamente invertido, o que significa magnetização em direção oposta a do campo principal da terra.

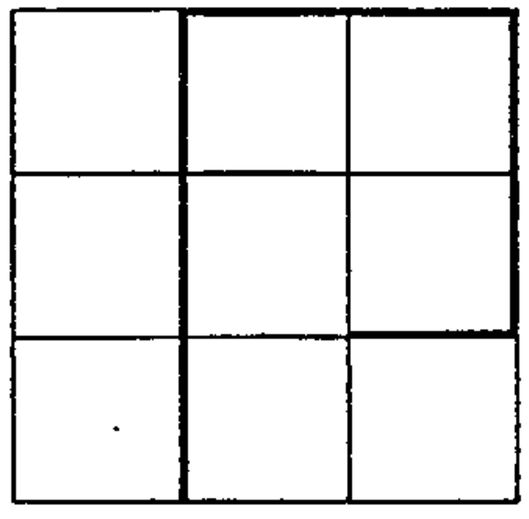
"Intrusivas" de pequeno diâmetro, Unidades 166 e 167, se associam com radioatividade apreciável, o que não ocorre com a unidade 117, face a sua maior profundidade de sepultamento, 500 metros.

Estrutura

Feições estruturais de grande envergadura são distinguíveis nesta folha magnética:

(a) uma família de falhas orientadas segundo NE-SW , com deslocamento lateral na direita; isto é, o lado norte se moveu para este, em alguns casos 2 a 5 km. Ao longo dessa falha o movimento horizontal é muito mais aparente do que o deslocamento vertical.

(b) uma mudança no mergulho regional que está associada com um padrão de dobrasde grande amplitude que se reflete tanto no mapa de interpretação magnética, como no radiométrico. Afirmamos antes que as curvas de profundidade para horizontes magnéticos mais profundos, na parte este-central do mapa parecem caracterizar uma elevação nos vulcanitos, cujo eixo mergulha para SW, o "Alto de Mineiros". Uma outra estrutura, até certo ponto semelhante, pode ser individualizada no setor noroeste da folha.



(c) um conjunto de falhas orientadas para norte, identificáveis na metade norte desta folha de mapa. Algumas, estão associadas com deslocamento vertical apreciável, indicando que se trata de falhas normais ou de gravidade.

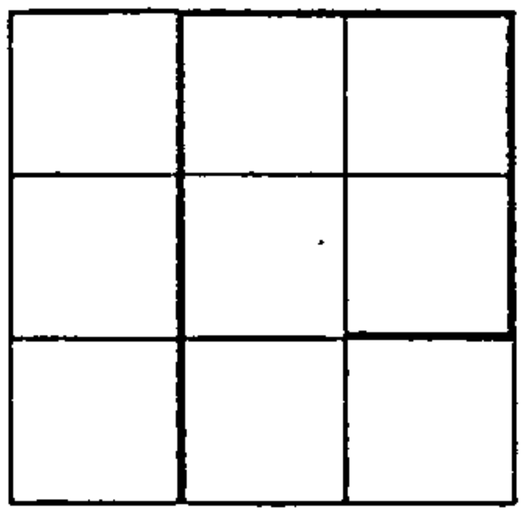
Interpretação Radiométrica

Formação Cachoeirinha/Bauru: estendendo-se para oeste da Folha 1, esta unidade litológica se caracteriza por alta radioatividade no canal de tório e no de contagem total, Unidade T_1U_3. Radioatividade no canal de urânio pode também ser distinguida junto com a resposta no canal de tório, porém apenas como acessória. A correlação entre o contorno da unidade radiométrica T_1U_3 e o mapeamento geológico do Cachoeirinha/Bauru indiviso é excelente.

Uma grande estrutura com carater de dobra exprime-se na curvatura da unidade T_1U_3, na proporção em que ela se estende para oeste através da folha de mapa. Esta aparente estrutura se correlaciona com aquela revelada na interpretação magnética, o "Alto de Mineiros" um aparente anticlinal mergulhando para sudoeste ou estrutura de forma dômica.

Formação Botucatu: os arenitos se correlacionam com radiação principalmente potássica, de valor baixo a moderado, Unidades K_2 e K_1U_2, na parte sudeste da folha.

Formações Permianas: nas vizinhanças de Benjamim de Barros, no setor sudeste da Folha, o permiano indiviso, argiloso, expressa-se radiometricamente por uma série de áreas dispersas com radioatividade média a alta no canal de potássio e urânio, Unidades U_2, U_2T_3, U_1T_3 ;



— K_1U_2, $K_1U_3T_3$, $K_1T_3U_3$.

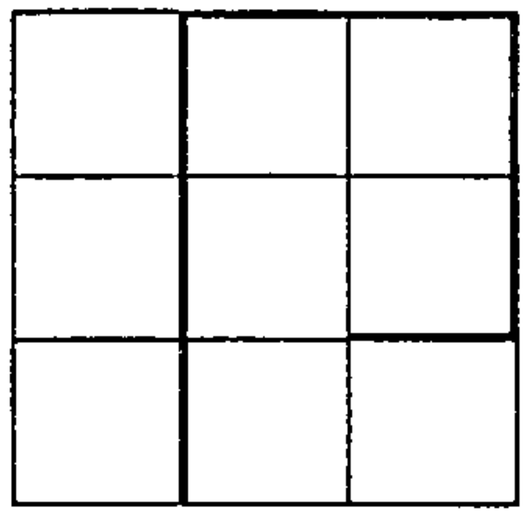
Esta radioatividade uranífera aparece também nos perfis dos dois furos da Petrobrás, dentro e nas vizinhanças da área do Projeto.

(1) Poço de Jataí (17º48'45" S, 51º46'50" W, 591 m , 3 km NNW de Jataí). Encontrou uma zona radioativa no intervalo 210 a 270 m, dentro da Formação Teresina, do Permiano.

(2) Poço de Alto Garças (16º55' S, 53º32' W, 748 km, 1 km S de Alto Garças). Na profundidade de 163m atravessou uma zona radioativa que corresponde a base da Formação Irati do Permiano. No perfil do furo a radioatividade se apresenta com uma intensidade 50% maior que no poço de Jataí.

Embora a área que define estas importantes unidades radiométricas seja, em parte, englobadamente descrita como Bauru/Serra Geral (B/SG) no mapeamento geológico, a presença de radioatividade uranífera, indica de maneira decisisiva a ocorrência de unidades permianas nas "janelas" de erosão, na sequência Botucatu, nos vales dos rios.

Formação Aquidauana: no terço setentrional dessa folha de mapa, ao norte das unidades radioativas Cachoeirinha T_1 e Permiano K_1, áreas dispersas com contagem total baixa a moderada, unidades K_1, K_2 e K_3, são correlacionáveis com a Formação Aquidauana, arenito e algum arcósio . O arcósio pode ser responsabilizado pela radiação potássica relativamente mais alta (Unidade K_1),ao longo do contato sul desta formação.



6.3 - FOLHA 3

Interpretação Magnética, Unidades Magnéticas e Estrutura

Unidade 1: Nos setores mais para noroeste e nordeste dessa Folha áreas de padrões magnéticos com anomalias de larga e fraca amplitude são atribuíveis a rochas filíticas do em - basamento pré-cambriano. Pela análise das anomalias, principalmente ao norte desta folha, verifica-se que a profundidade do embasamento cresce, de menos de 1.600 para mais de 3.000 m, abaixo da superfície.

Numa "janela" localizada na parte sudoeste da folha a análise fornece profundidades de 1.400 a 1.900 m. As baixas suscetibilidades, 500 a 700 x 10^{-6} cgs, associadas com anomalias de pequenas amplitudes comparam-se com suscetibilidades determinadas para anomalias do "embasamento" na Folha 4, isto é, 400 a 2300 x 10^{-6}cgs.

Unidade 2a: os contornos setentrionais dos vulcanitos da Serra Geral são caracterizados por anomalias de amplitudes particularmente fortes, 1.000 a 4.000 gamas. Este relevo magnético, se comparado com o campo das áreas mais interiores, onde está presente a soleira de vulcanitos, é provavelmente o resultado dos seguintes fatores:

(1) efeito de interface;

(2) pequena profundidade, isto é, 0 a 50 m

abaixo da superfície , em comparação com profundidades dos vulcanitos de mais de 200 m, mais ao sul;

(3) possível aumento do teor de magnetita dentro das capas vulcânicas.

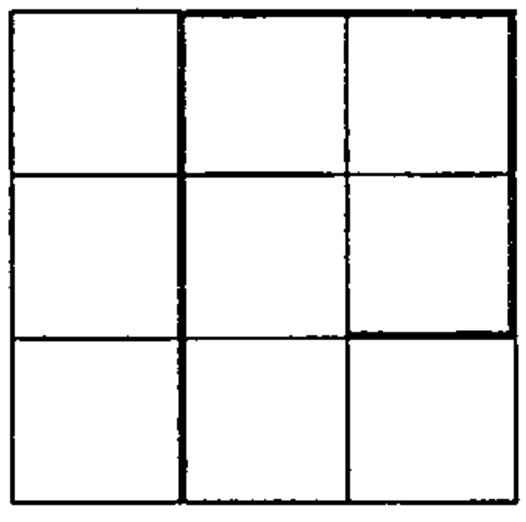
Um zoneamento dominante de direção ENE-WSW associa-se com estas anomalias, bem como com aquelas delineadas na Unidade 4a, menos magnética. Tal zoneamento se relaciona com a orientação do falhamento principal na área do Projeto, falhas de direção (strike slip) ENE-WSW, com deslocamento lateral direito.

Unidades 3, 3d, 4 e 4a: estas unidades definem áreas onde ocorrem em sub-superfície os vulcanitos da Serra Geral e nas quais o relevo magnético é menor do que o das Unidades 2 e 2a pelas razões abaixo:

(a) maior profundidade dos vulcanitos, isto é, 100 a mais de 700 m abaixo da superfície;

(b) contraste magnético menor: as variações do teor em magnetita dentro dos vulcanitos são provavelmente mais graduais do que o contraste de magnetização entre vulcanitos e sedimentos, como se evidencia no bordo norte da Serra Geral.

O zoneamento magnético ESE-WSW delineado na Unidade 4a é dramático e esta regularidade serve para distinguir a unidade 4a da unidade 4.



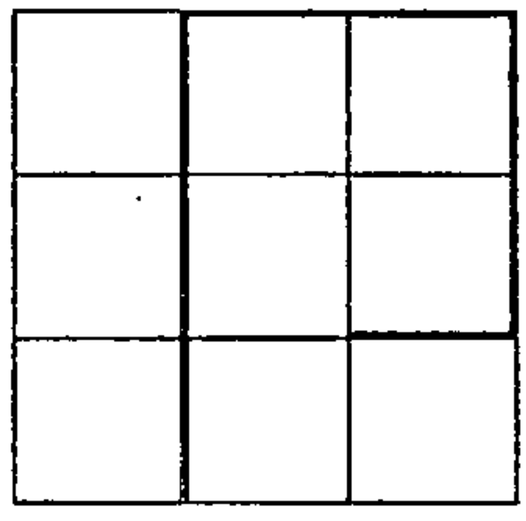
Unidade 5: anomalias magnéticas provenientes de magnetização em niveis mais profundos podem ser discerníveis nas partes este-central e sul-central desta Folha. As determinações de profundidade para esta unidade "vulcânica" variam de 400 a mais de 700 m abaixo da superfície e devem representar sills e diques dentro da seção sedimentar, abaixo da Formação Botucatu.

Unidade 8: áreas de baixo contraste magnético, pouco nítido são delineadas por esta unidade na parte oriental e sul-oriental desta Folha. Ou os vulcanitos são excepcionalmente pouco espessos nestes locais ou, relativamente não deformados e homogêneos em composição, comportando-se como uma capa magnética horizontal uniforme, numa posição interior em relação aos bordos, num campo magnético de fraca inclinação.

Lineação e fraca profundidade sugerem a presença de diques na parte este-central da Folha, dentro das áreas que compõem a Unidade 5. O contraste em profundidade que se pode notar,por exemplo -50m quando comparado com -500m, leva-nos a identificar essas anomalias lineares como diques. Diques estão provavelmente presentes em outras partes desta folha, porém são inseparáveis do padrão magnético geral dos vulcanitos.

Estrutura

A principal feição estrutural que se evidencia nesta Folha, bem como nas Folhas 1 e 2, é um falhamento transcurrente de direção ENE-WSW, sempre com deslocamento do lado direito. Os deslocamentos magnéticos in



dicam tanto como 2 a 5 km de afastamento, no qual o lado norte deslocou-se para este ao longo da falha.

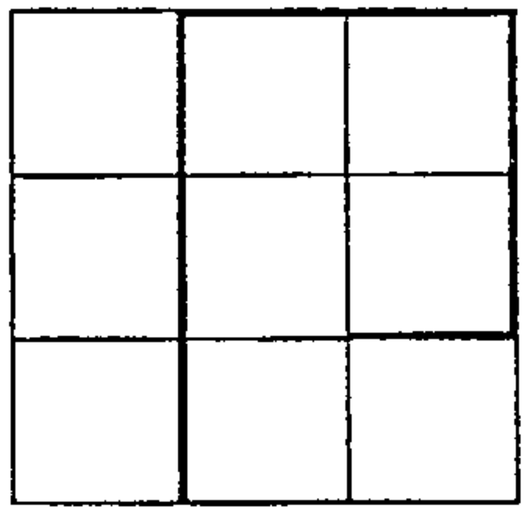
Uma feição homoclinal mergulhando para sul se evidencia pelas determinações de profundidade no topo dos vulcanitos da Serra Geral, corroborado por um aumento na profundidade dos vulcanitos, de 0 m ao longo do bordo norte, para mais de 700 m na extremidade sul da Folha,numa distância de aproximadamente 40/60 km; isto é, 10 a 20 m/km, em consonância com o mergulho regional relatado pelo prof. Fernando Almeida.

Interpretação Radiométrica

Formações Cachoeirinha/Bauru: na parte extrema este-central da Folha, mais como uma extensão para oeste do que ocorre na Folha 2, uma área de alta radiação torífera , com radiação uranífera subordinada, Unidade T_1U_3, corresponde bem com o que foi identificado como Cachoeirinha/Bauru indiviso no mapa geológico. Algumas áreas isoladas com radiação no canal de tório, ao longo das margens sul e sudoeste desta Folha, aparentam também estar associadas á presença de Cachoeirinha/Bauru.

Formação Botucatu : recobrindo a maior parte dos setores oeste e sudoeste desta Folha, áreas de radiação quase despresível identificam a presença dos arenitos da Formação Botucatu.

Permiano: no terço nordeste desta Folha, áreas de radiação alta, principalmente de origem potássica, Unidades K_1, K_2, K_3, $K_2T_3U_3$, K_1T_3, correspondem a exposições do Permiano indiviso; mais algumas áreas pequenas e esparsas com radiação uranífera, podem também ser delimitadas e compõem as Unidades U_2, U_2K_3, U_2T_3. Algumas des-



sas unidades merecem investigações definitivas no ter - reno.

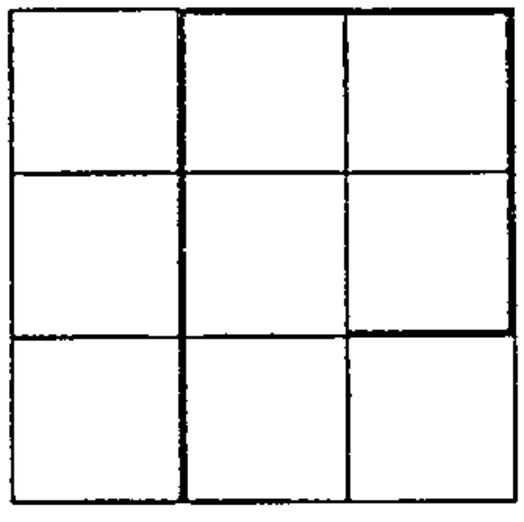
Formação Aquidauana: nas áreas recobertas por esta For- mação, como por exemplo no canto nordeste da Folha, há um decréscimo acentuado na radioatividade. Alguma radiação potássica delimitada pelas Unidades K_1 e K_2 pode estar associada com horizontes mais radioativos, portanto mais arcósicos, na parte superior dessa Formação.

6.4 - FOLHA 4

Interpretação Magnética: Unidades Magnéticas, Estrutura

Unidade 1: uma família de anomalias de baixa amplitude, largas e compridas, dirigidas principalmente de NE para SW, caracterizam esta unidade. As estimativas de profundidade caem dentro da faixa de 400 a mais de 2.400 m abaixo da superfície. Os contrastes de susceptibilidade variam de 400 a 2.300 x 10^{-6} cgs, refletindo um teor em magnetita muito baixo ou distribuição esparsa; isto é, de 0,1 a 0,8 % de magnetita. Estas anomalias parecem associar-se com o embasamento pré-cambriano, o qual conforme o mapeamento geológico, para norte e para este da área do Projeto, é principalmente constituido de filitos e xistos. Os pequenos números que representam as suscetibilidades determinadas concordam com esta descrição litológica.

Com maior detalhe trataremos da topografia do embasamento, e de sua estrutura, no fim desta Seção.

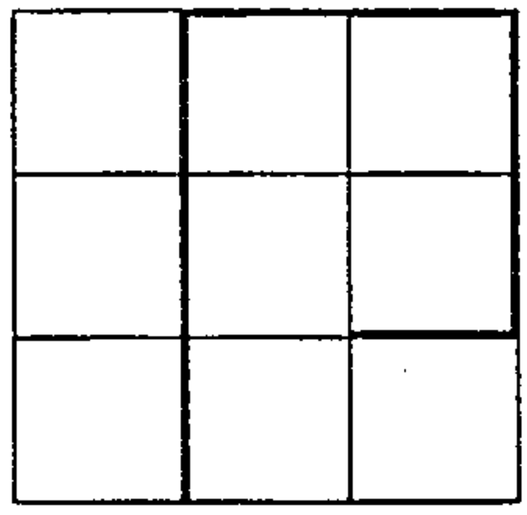


Unidade 2a: a borda norte dos vulcanitos da Serra Geral expressa-se ao longo da margem sul-central desta Folha, por uma série de anomalias de grande amplitude orientadas na direção E-W, que têm origem dentro dos primeiros 50 m abaixo da superfície. A magnetização dos vulcanitos é bastante intensa, como se reflete nos contrastes de suscetibilidade que variam de 3.000 x 15.000 x 10^{-6} cgs, correspondendo a um teor de magnetita de 2 a 9%.

Unidade 15: áreas dispersas com anomalias de baixa amplitude, 10 a 50 gamas aparecem nesta folha indicando origem a pequena profundidade. Esta unidade magnética está provavelmente associada com uma cobertura pouco espessa de vulcanitos da Serra Geral.

A presença de um certo número de diques orientados para NE-SW se infere pela lineação das curvas isogâmicas, particularmente na parte central-oeste da Folha.

Unidade 15a: anomalias de baixa a moderada amplitude distribuem-se numa zona grosseiramente circular, ao redor do núcleo do Domo de Araguainha. Estas anomalias são correlacionáveis aos vulcanitos identificados no mapeamento geológico por Silveira Filho e Ribeiro, 1971. As características magnéticas expressas nesta unidade, todavia, são muito semelhantes àquelas de sub-unidades delineadas nas áreas recobertas pela Serra Geral, como por exem



plo na Unidade 4.

Estrutura e Topografia do Embasamento

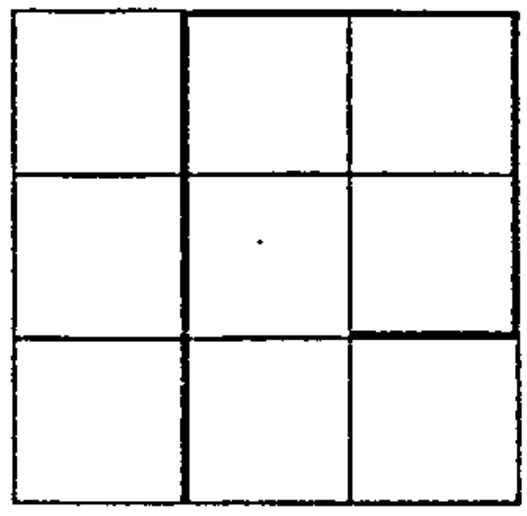
As determinações de profundidade nas anomalias magnéticas da Folha 4 permitiram o traçado das isóbatas, com 200 m de intervalo, representativas das variações das profundidades do embasamento abaixo da superfície. As curvas representam também variações na espessura dos sedimentos que recobrem o embasamento.

1. Bacia Alto Garças: uma das feições mais importantes revelada pela análise de profundidades é uma bacia bastante ampla que se desenvolve na parte oeste-central da Folha, orientada em direção NNE. As profundidades calculadas dentro desta bacia excedem 2.000m, e a depressão aparenta ser, pelo menos, em parte, controlada estruturalmente no seu flanco ocidental por uma falha N-S.

   Há excelente concordância entre a profundidade interpretada para o embasamento e a encontrada na sondagem de Alto Garças. O poço perfurado pela Petrobrás logo ao sul da cidade de Alto Garças, atravessou embasamento na profundidade de 1.944 m, enquanto que as profundidades estimadas pela análise das anomalias magnéticas indicam para o embasamento uma profundidade de cerca de 1.950m.

2. Outras Depressões do Embasamento: uma segunda bacia parece desenvolver-se na parte sudeste da Folha onde profundidades de 1700 m são indicadas. Esta "bacia" parece ser um graben orientado na direção NNW.

3. O Domo de Araguainha: as determinações de profundidade feitas nesta área para o embasamento indicam uma



– estrutura de forma elíptica, conformando um alto no embasamento com orientação NW-SE, o qual é em parte estruturalmente controlado; isto é, uma falha de direção NW-SE corta o seu flanco ocidental. Um padrão magnético bastante perturbado caracteriza a área do domo, ao contrário do que ocorre geralmente em outras partes da Folha onde o padrão tem uma orientação NE-SW bastante definida. Todavia, a evidente simetria circular pronunciada, presente na interpretação radiométrica, e também no mapeamento geológico de Silveira Filho e Ribeiro, tem expressão magnética correspondente muito fraca, com exceção possível do que foi descrito no delineamento da unidade vulcânica 15a.

O núcleo granítico do domo não tem expressão magnética, o que refleté o teor normalmente baixo de magnetita no granito.

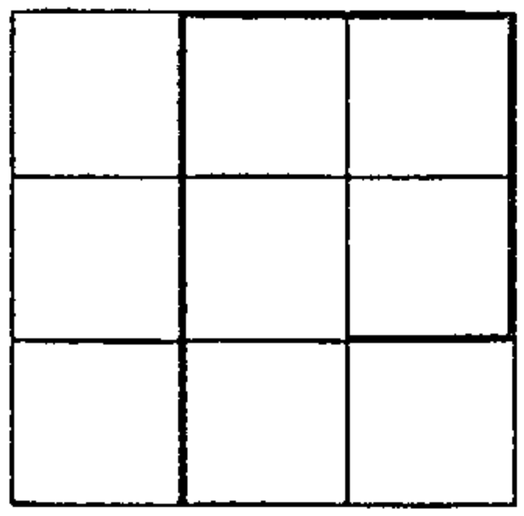
Interpretação Radiométrica

Domo de Araguainha

A feição radiométrica principal revelada pelo levantamento radiométrico, e provavelmente a mais espetacular de todas, é o Domo de Araguainha. O zoneamento circular notável, concêntrico ao núcleo granítico do domo, tem a seguinte expressão radiométrica:

(a) no núcleo granítico: alta radiação potássica, delineada pela Unidade K_1 numa área circular com aproximadamente 5 km de diâmetro, associada com os feldspatos potássicos do granito do núcleo.

(b) em área imediatamente adjacente, fraca ou nenhuma radiação, correlacionável com as lavas e para fora de



las com a formação Furnas do Devoniano.

(c) num raio médio de 5 km, num anel estreito, com aproximadamente 3 km de largura, uma zona de forma circular de intensa radiação, dividida em duas unidades; uma de radiação potássica, Unidades K_1 e K_2, e outra com intensa radiação torífera, Unidade T_1. Uma área bem individualizada de mineralização uranífera aparece na borda das unidades $T_1U_2K_3$ e T_2U_2, onde afloram sedimentos da Formação Ponta Grossa.

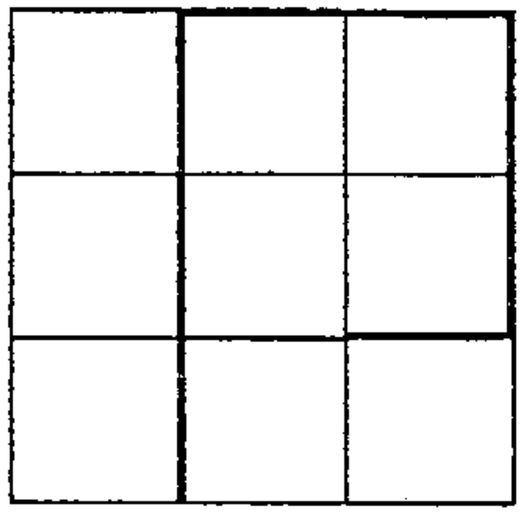
(d) por fora desta zona, aparece uma área bastante ampla de pequena ou nenhuma radiação, com algumas áreas dispersas de baixa radiação potássica, Unidade K_3, que se relaciona com a Formação Aquidauana do Carbonífero e a parte superior da Formação Ponta Grossa do Devoniano.

(e) uma zona circular exterior, num raio de 18 a 20 km a partir do núcleo do Domo, compõe-se principalmente de radiação potássica intensa, Unidade K_1 e K_2. Esta zona, de acordo com o mapeamento geológico dos autores antes referidos, considera-se associada em parte com o sinclinal ou série de sinclinais no permiano indiviso. Estes sinclinais parecem estar estruturalmente relacionados com o desenvolvimento do Domo.

(f) fraca ou nenhuma radiação se nota para fora da unidade K_1 onde a Formação Aquidauana se expõe continuamente.

Formação Ponta Grossa

No canto nordeste da Folha, imediatamente a nordeste do Domo, aparece uma área de intensa radiação. Esta área se subdivide de acordo com a radiação presente nos canais: Unidades U_2T_2, $T_2U_2K_3$ e $K_2T_3U_3$. Estas áreas de radiação correspondem bem com a faixa mapeada como sendo Formação Ponta Gros



sa, onde predominam folhelhos marinhos e arenitos. A radiação intensa da parte inferior dessa formação expressa-se bem nas vizinhanças do Domo.

Formação Aquidauana

A Formação Aquidauana, que aflora na maior parte do norte, centro e sudeste desta Folha, caracteriza-se por fraca ou nenhuma radiação. Todavia, na parte oeste-central da Folha áreas de radiação fraca e intensa que se estendem para norte, este e sul de Alto Garças, exprimem-se pelas Unidades K_1, K_2 e K_3 na Formação Aquidauana. Esta radïoatividade é provavelmente relacionável a membros arcósicos ou argilosos que ocorrem na parte superior desta Formação.

Permiano: Formações Palermo e Irati

Estendendo-se para norte, a partir de 5 km ao norte de Alto Garças, aparecem áreas dispersas de radioatividade moderada, bem individualizadas. Pelo menos três destas zonas dispersas apresentam radiação uranífera, Unidades U_2 e U_2K_2. Em cada caso a unidade uranífera U_2 pode ser identificada com o Permiano, Formações Palermo, Irati e Teresina. A associação da radiação uranífera com o Permiano acha-se corroborada pela perfuração do poço de Alto Garças, a 7 km para sul, onde esta radiação tem valores de cinco vezes o "background", na base da Formação Teresina, na profundidade de 163 metros.

Terciário, Formação Cachoeirinha. Grupo Serra Geral

Na parte sudoeste da Folha, vizinhanças de Alto Garças, e para noroeste, áreas extensas de intensa radiação, principalmente tório, com urânio subordinado, caracteri-

zam a Unidade T_2U_3. Esta radioatividade se relaciona com a presença da Formação Cachoeirinha do Terciário, lateritos e eruptivas da Serra Geral.

6.5- ANÁLISE DETALHADA DOS DADOS MAGNÉTICOS

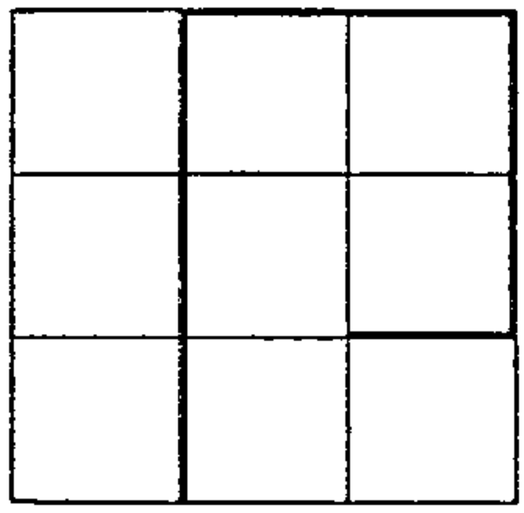
Provavelmente, a feição mais proeminente que o levantamento aeromagnético revelou é a Anomalia de Santana, interpretada como uma intrusiva básica do tipo carbonatito.

Num esforço para apoiar a resolução de grandes estruturas e determinar se outras feições do tipo Santana estariam presentes em áreas recobertas pelos vulcanitos da Serra Geral, empreendeu-se análise mais detalhada dos dados que constam dos mapas magnéticos. Este trabalho adicional incorporou a técnica da análise do espectro energético de que resultou a filtragem dos dados aeromagnéticos, "match filtering". A descrição da técnica, os espectros energéticos computados e o método de filtragem dos dados magnéticos para produzir o Mapa Magnético da Componente Regional na escala 1:250.000, Figura 22, constam de trabalhos de autoria do geofísico Allan Spector, principal responsável pela fase de interpretação dos dados geofísicos do Projeto Alto Garças.

As seguintes observações ressaltam de uma análise do Mapa Magnético da Componente Regional:

(1) feições intrusivas com magnetização semelhante em tamanho e forma à Anomalia de Santana não foram reveladas em qualquer outra parte da área do Projeto;

(2) ocorrem extensas zonas de intensa magnetização, principalmente orientadas E-W, que se podem relacionar com áreas de vulcanitos da Serra Geral, intensamente magnetizados e espessos, particularmente a este da



área, correspondendo a Unidade Magnética 2. Além do mais, fortes anomalias originadas pelo efeito de interface ao longo da borda norte da cobertura vulcânica, refletem-se no Mapa Magnético da Componente Regional;

(3) pode-se também distinguir um número de grande falhas na área coberta pelos vulcanitos. Estas falhas são maiormente orientadas NE-SW e caracterizadas por movimentos ao longo da direção da falha (strike slip fault), nas quais o lado sul ou sudeste deslocou-se para sudoeste. Uma lineação bastante desenvolvida , que cruza os limites entre as Folhas 1 e 2 é interpretada como falha;

(4) zonas anômalas extensas, principalmente orientadas SW-NE, que aparecem ao norte dos vulcanitos da Serra Geral, são consideradas como efeitos do embasamento e foram anteriormente avaliados e utilizados no traçado das isóbatas;

De modo geral, os padrões de anomalias representados no Mapa Magnético da Componente Regional, exprimem variações regionais ou de longo comprimento de onda, na distribuição, expessura e/ou magnetização dos vulcanitos da Serra Geral. Estas variações regionais associadas com o Grupo Serra Geral tornaram especialmente difícil, quando do emprego da análise do espectro energético, separar as influências magnéticas comparativamente mais fracas daquelas causadas pelo embasamento pré-cambriano, mais profundamente situado e sotoposto aos vulcanitos.

6.6 - DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

Os principais resultados do levantamento aeromagnéti -

co, apresentados na Figura 23, podem ser assim resumidos:

(1) Distribuição dos Vulcanitos da Serra Geral

Em aproximadamente dois terços da área do Projeto, dominam feições de intenso magnetismo relacionados aos vulcanitos da Serra Geral, derrames, sills e diques. O teor de magnetita nestes vulcanitos varia de 1 a 10% é sua expressão magnética possibilitou ao levantamento magnético a definição dos limites setentrionais destas rochas.

As variações no relevo magnético nas áreas de ocorrência das rochas ígneas têm origem nos seguintes fatos:

(a) efeitos de interface na borda norte dos vulcanitos, na vizinhança de escarpas de falha e outras feições de erosão;

(b) variações na espessura e atitude dos vulcanitos;

(c) distribuição da magnetita em faixas nos diferentes derrames de lavas.

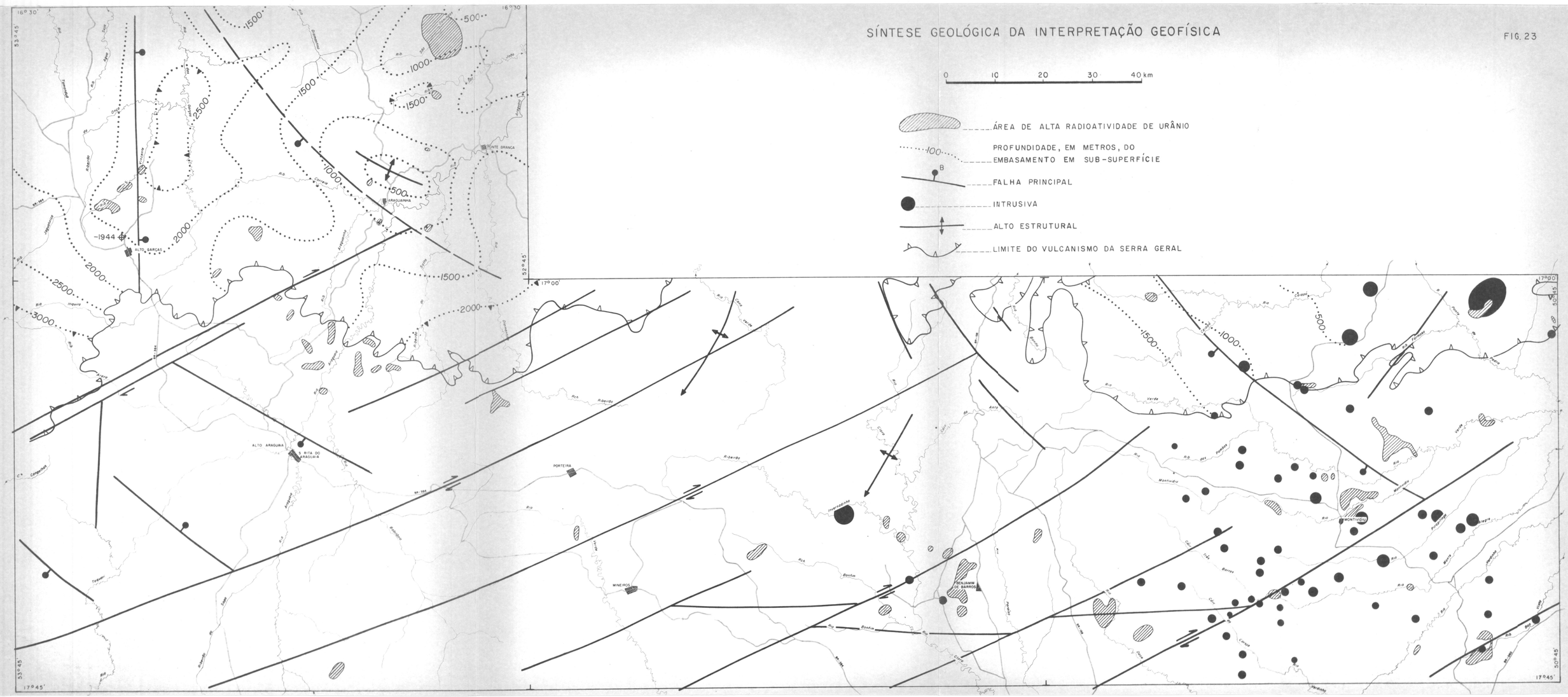
(d) deformação estrutural dos vulcanitos relacionada com a subsidência da Bacia Paraná e particularmente, com os falhamentos orientados NE-SW.

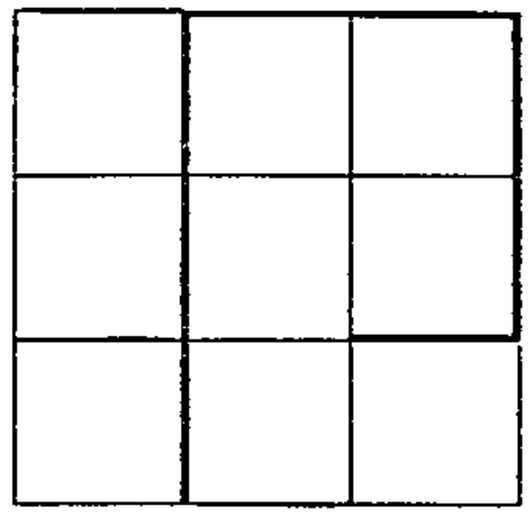
(e) transição de extrusivas para intrusivas menos magnéticas, como sills e diques de diabásio.

Nas áreas onde os vulcanitos foram erodidos pode-se separar anomalias associadas com sills, em profundidades de 400 até mais de 600 m.

SÍNTESE GEOLÓGICA DA INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA

FIG. 23





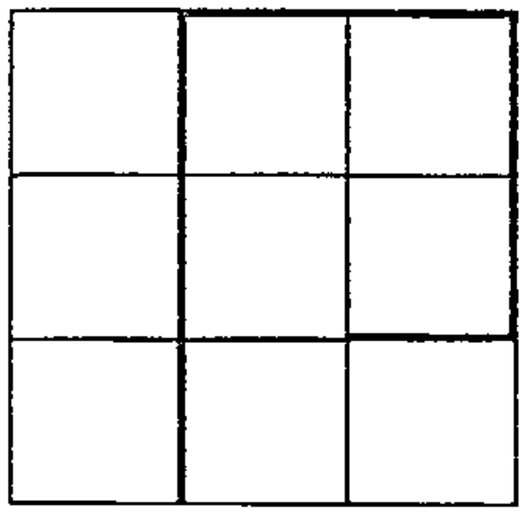
— Alguma radioatividade, principalmente torífera, ocorre em relação com os vulcanitos da Serra Geral.

(2) Carbonatito (?) de Santana/Intrusiva Básica

A feição magnética mais espetacular descoberta pelo levantamento aeromagnético é a Anomalia de Santana, com 13.000 gamas de amplitude. Esta anomalia é aqui interpretada como uma intrusiva do Cretáceo Superior, geneticamente relacionada às eruptivas da Serra Geral, jazendo a uma profundidade de 100 m abaixo da superfície do terreno e situada no extremo nordeste da área do Projeto. O tamanho, a forma circular e a intensa magnetização da intrusiva de Santana, a que corresponde um teor de 40% de magnetita, sugere tratar-se de um carbonatito (?), sendo nesta hipótese um membro da família de rochas de mesma natureza que se distribuem ao longo da borda da Bacia Paraná.

Esta família de carbonatitos, a medida que progride o mapeamento geológico no Brasil, vai sendo acrescida de novas unidades, entre as quais já podemos citar Anitápolis, Jacupiranga, Ipanema, Tapira, Araxá, Salitre, Serra Negra, Catalão e outras.

Os carbonatitos alcalinos são caracteristicamente de forma circular, com diâmetros em média de 3 a 6 km, intensamente magnéticos face ao alto teor de magnetita, e radioativos, particularmente nos canais de tório e urânio. Minerais de terras raras são relativamente abundantes nos carbonatitos, destacando-se entre todos o pirocloro pela sua importância econômica, como minério de nióbio.

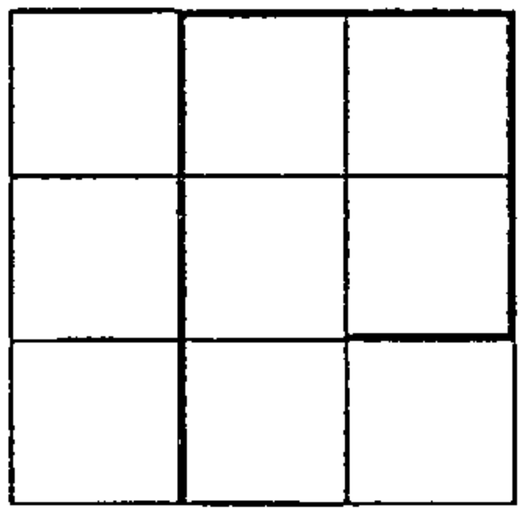


Entre os carbonatitos conhecidos no Brasil, o de Tapira tem uma reserva provada de 1,6 bilhões de minério de titânio, com 10% de TiO_2. Outros forne cem apatita, pirocloro e sais de tório e urânio , como por exemplo Araxá. Concentrações de magneti tas muito altas são conhecidas nos carbonatitos , 26% no solo que recobre Jacupiranga, Araxá, Tapira e Serra Negra. A anomalia magnética revelada nas chaminés de Araxá e Tapira assemelha-se na sua forma à Anomalia de Santana.

A espessura do Cretáceo Superior, Formação Bauru e sedimentos mais recentes que recobrem a intrusi va de Santana, poderá vir a prejudicar a sua ex- ploração econômica; todavia, recomendamos enfati- camente que sejam efetuadas perfurações pioneiras para avaliar a mineralização associada com esta intrusiva, especialmente ao longo dos seus conta- tos com as rochas encaixantes, onde aparece mine- ralização uranífera, e no seu núcleo. Prospecção visando a uma mineralização cuprífera pode ser executada nas vizinhanças da intrusiva empregando -se um eletromagnetômetro de frequência extrema - mente baixa (VLF) para atingir maior profundidade de penetração. Sistemas de levantamento eletro-mag nético, recentemente aperfeiçoados, que utilizam campos transmitidos na faixa de 40 a 80 hertz, po- dem também ter aplicação nesta investigação.

(3) Outras Intrusivas Básicas

Pequenas intrusivas básicas, de forma circular , com 1 a 3 km de diâmetro, em número de 57, são i- dentificáveis na parte este da área do levantamen



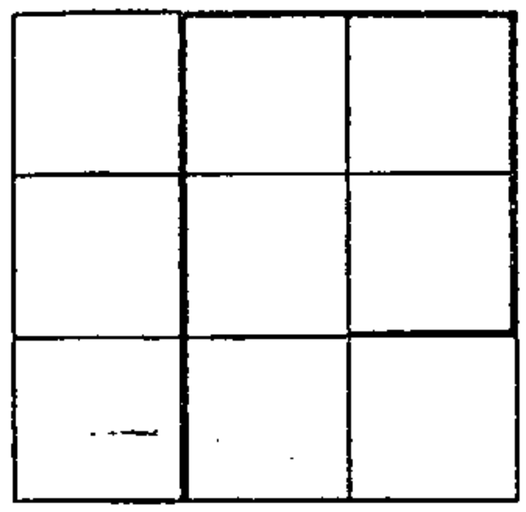
to. A proximidade destas intrusivas da Anomalia de Santana e dos vulcanitos da Serra Geral, sugere uma relação genética entre estas rochas. As intrusivas são caracterizadas por forma circular, intensa magnetização (10 a 30% de magnetita), algumas vezes possuindo magnetização remanente apreciável e em alguns casos, expressão radiométrica muito forte.

Na maioria dos casos esta radioatividade é principalmente devida a radiação no canal do tório, porém em outros casos domina a radiação proveniente do potássio e do urânio. A presença da radiação torífera sugere que estas pequenas intrusivas possam ser relacionáveis a família de carbonatitos do Cretáceo Superior anteriormente mencionados. Todavia, entre estas, as que apresentam-se com radiação potássica podem ter composição diferente das outras.

Investigação de maior detalhe destas intrusivas, particularmente daquelas indicadas na Figura 17, Folha 1, é aqui recomendada para verificar a possibilidade de uma associação delas com minerais de metais básicos.

(4) Embasamento Pré-Cambriano, Variação de Profundidade

Nas áreas ao norte da predominância magnética dos vulcanitos da Serra Geral, foram feitas determinações de profundidade para o embasamento filítico do pré-Cambriano. Estas profundidades variaram desde menos de 400 até mais de 3000 m abaixo da superfície do terreno na área do Projeto. De-



finem uma depressão no embasamento, a profundidades abaixo de 2.000 m, a este e nordeste de Alto Garças, depressão que recebeu aqui o nome de "bacia" alto Garças.

Estruturas de falha, principalmente orientadas N-S, parecem ter desempenhado papel relevante no desenvolvimento desta bacia.

(5) Principais Falhas

Falhas aparentemente paralelas com direção NE-SW, do tipo transcurrente, são identificáveis pelo deslocamento e lineação das anomalias magnéticas associadas com os vulcanitos da Serra Geral. Em geral o lado SE da área do levantamento parece ter-se deslocado para este, possivelmente tanto quanto 10 a 20 km. Ao longo dessas falhas o deslocamento horizontal tem maior importância do que o vertical. As falhas esposam as mesmas direções estruturais e litológicas que se exibem no embasamento pré-Cambriano (ver Folha 4).

Outros sistemas de falhas identificados pelo levantamento magnético podem ser assim descritos:

(a) séries de duas ou mais falhas orientadas E-W definidas por um forte lineamento magnético na parte central da área do Projeto, a este de Mineiros. O lado sul destas falhas parece ser o bloco baixo;

(b) séries de duas ou mais falhas orientadas NW-SE na parte sudoeste da área, a oeste de Alto Araguaia;

(c) falhas com orientação N-S na parte norte da área do levantamento, que, pelo menos em um dos casos, relacionam-se com deslocamentos verticais de importância.

(6) Altos Estruturais

Como se representa na Figura 23 dois altos estruturais regionais "uplifts" são identificáveis na interpretação magnética:

(a) o Domo de Araguainha: um grande levantamento do embasamento, da ordem de 1000 m, associado com intrusão granítica e vulcanismos.

(b) o Alto de Mineiros: uma feição do tipo anticlinal, mergulhando para SW, expressa por determinações magnéticas de profundidades do embasamento, e também corroborada pela distribuição das unidades radiométricas que aparecem na Folha 2.

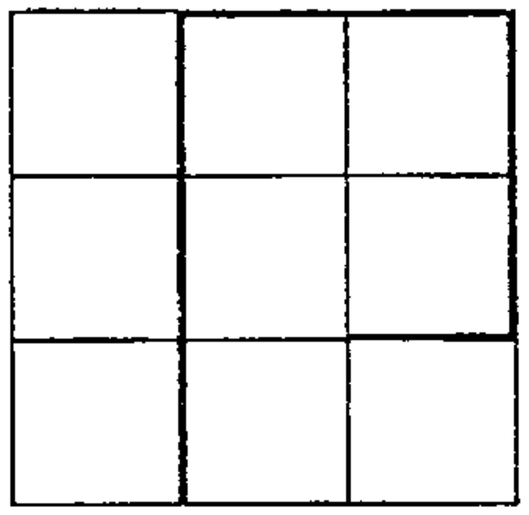
Os principais resultados do levantamento gama-espectrométrico podem ser, sumariamente, assim descritos:

(a) Aplicações dos Dados Espectrométricos no Mapeamento Geológico

É excelente, na maioria dos casos, a correlação entre os dados gama-espectrométricos, agrupados sob a forma de unidades radiométricas, e o mapeamento geológico. O quadro que se segue descreve as características radiométricas das várias unidades litológicas que afloram na área do Projeto:

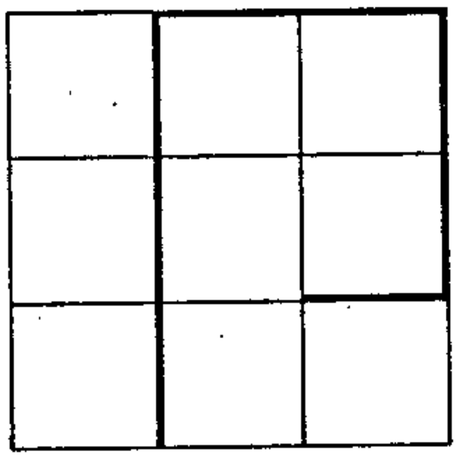
Formação	Expressão Radiométrica	Mineralização Uranífera	Expressão Morfológica no Mosaico
Cachoeirinha Bauru Serra Geral	tório alto 400-550 cps na contagem total	- sim -	plano, tonalidade uniforme, drenagem regular face setentrional terminada em escarpa
Botucatu	radiação despresível	-	drenagem mais cerrada, erosão mais acentuada
Permiano indiviso	radiação potássica, anomalias com 200-500 cps na contagem total	sim	padrão de drenagem cerrado, face à composição argilosa, muito erodido, facilmente alterado
Aquidauana	alguma radiação potássica, fraca, 150 cps. Anomalias isoladas altas em potássio, provavelmente associadas com arcósios	-	mesmas características do Botucatu
Ponta Grossa	radiação alta a média na contagem total, mistura de tório, potássio e urânio	sim	características assemelhadas às do Permiano, por causa da composição argilosa
Furnas	nenhuma radiação	-	faixas de tonalidades escuras circundando o Domo de Araguainha
Pré-Cambriano	radiação alta no potássio, 400-500 cps no granito	-	superfície áspera, tonalidades claras

A correlação da radiometria com o mapeamento geológico é, provavelmente, mais notável, na área do Domo de Araguainha.

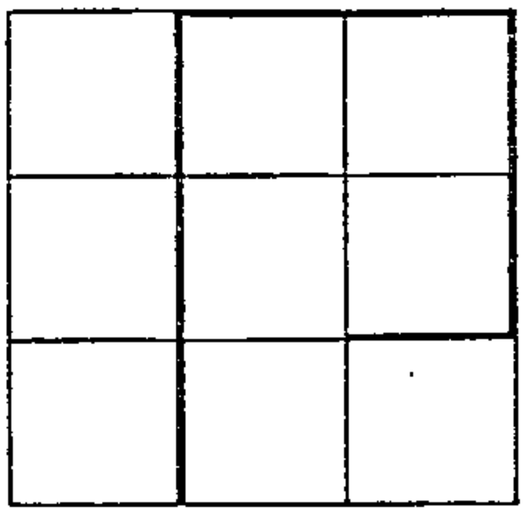


(b) Locais Recomendados para Prospecção de Urânio

Radiação presente no canal de urânio, significativamente alta, foi registrada pelo espectrômetro em várias localidades. A radioatividade máxima aparenta estar confinada às áreas onde afloram formações permianas, como por exemplo nos vales dos rios; particularmente, nas partes média e superior da seção permiana, Formação Teresina, que se caracteriza nos poços de Jataí e Alto Garças por forte radioatividade nos perfis. Os locais abaixo descritos, cujas posições estão referidas aos elementos do levantamento, traços dos vôos e números das fotografias de posição, são aqui recomendados para investigações de maior detalhe no terreno, inclusive mapeamento geológico, e/ou detalhe espectrométrico ao qual seguir-se-ão sondagens.



Locais Nº	Perfil Nº	Fiducial Nº	Urânio cps
1	2	3319,5	25
2a	16	8513	10
2b	17	1841,5	14
3a	18	2517,3	15
3b	20	4317	18
4	18	3191,2	10
5	32	3468	18
6a	34	5030	19
6b	34	4994	15
6c	35	6085,5	20
6d	37	7888,4	16
7a	42	1426,2	10
7b	43	2175,8	10
7c	44	3257,3	10
8	43	2240	17
9	60	3374,2	15
10	85	823,5	13
11	95	9160,1	18
12a	124	2021,8	12
12b	125	3259,0	16
12c	126	3758,1	15
13	124	1841,7	16
14a	127	4983,0	22
14b	128	5560,0	16
15	131	2280,5	20
16	140	321,9	14
17a	166	1479,5	14
17b	168	3247,8	16
18	203	3285,5	20
19	220	3007,2	20
20c	232	4849,8	14
20d	232	4919,0	14
20e	233	4646,8	18
21a	232	4709,4	18
21b	233	4787,4	13
22	234	855,6	27
23	241	3804,2	18
24a	241	4130,4	18
24b	242	1394,3	15
25	244	4610,0	17
26a	245	5819,2	15
26b	246	2711,3	18
27	246	3022,6	20
28	249	722,3	16
29	254	9464	14
30a	257	5124,8	16
30b	258	3538,9	16
30c	259	2187,6	14
31a	259	2219,8	22
31b	260	700,3	18
32a	269	1954,8	20
32b	270	1720,0	18
32c	271	5898,9	18
33a	271	815,3	10
33b	278	1886,9	14
34	293	4107,5	20
35	293	3980,0	15
36a	295	950,5	18
36b	297	5912,0	18



(c) Avaliação da Tonelagem de Urânio

Executando-se a calibração do sistema espectrométrico, com o auxílio de fontes conhecidas, pode-se , conhecendo a área de afloramento, examinar quantitativamente os dados da anomalia de urânio, para chegar às estimativas da concentração do urânio, em partes por milhão, utilizando o método empregado por Doig (1968).

A interpretação dos dados do levantamento que consta do texto deste relatório é essencialmente uma avaliação geofísica dosdados magnéticos e radiométricos, com o apoio indispensável da geologia conhecida até fevereiro de 1972. A interpretação deve ser utilizada judiciosamente pelos geólogos familiarizados com a área, como mera orientação. Com o passar do tempo eles estarão em melhor posição para, criteriosamente avaliar o significado geológico das feições aqui destacadas.

Com informações adicionais, principalmente aquelas que resultarem de mapeamentos geológicos de detalhe e levantamentos geofísicos no terreno, poderá ser possível modificar para melhor ou pior as avaliações empreendidas e discutidas neste relatório. Quando isto ocorrer, as revelações aqui contidas merecerão importância maior or menor do que a que lhes atribuiu a interpretação.

Rio de Janeiro, março de 1972

PROSPEC S.A. - Geologia, Prospecções e Aerofotogrametria

AS/SVG/gfn

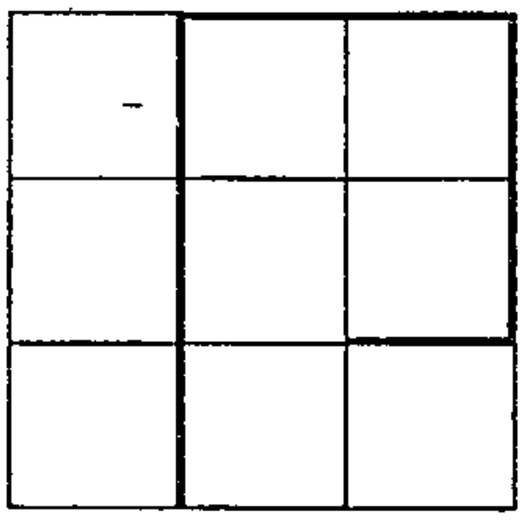
VII. REFERÊNCIAS

— Almeida, F. F.	1971	"Geologia da Área do Projeto Alto Garças" - Relatório da PROSPEC
Bhattacharyya, B.K.	1964	"Magnetic Anomalies Due to Prism-Shaped Bodies with Arbitrary Polarization". GEOPHYSICS, V. 21, p.517-531
Doig, D.	1968	"The Natural Gamma-Ray Flux; In-Situ Analysis". GEOPHYSICS V. 33, p. 311-328
Grant, F.S. e West,G.F.	1965	"Interpretation Theory in Applied Geophysics". McGraw Hill, New York, 583 pp.
Gregory, A.	1970	"Geological Applications of Portable Gamma-Ray Spectrometers". Publication of McPhar Geophysics, Toronto, Canadá.
Kellogg,W. C.	1968	"Aerial Radioactivity Surveying; Techniques of Succesful Application". Lockwood Kessler Bartlett Inc. Pasadena, Califórnia.
Malahoff, A.	1969	"Magnetic Studies over Volcanics in the Earth's Crust and Upper Mantle", pp. 436-446. A.G.U. Geophysical Monograph 13
Nagata,T.	1969	"Reduction of Geomagnetic Data and Interpretation of Anomalies in the Earth's Crust and Upper Mantle", pp. 391 - 398. A.G.U. Geophysical Monograph 13.
Silveira Filho, N. C. e Ribeiro, C. L.	-	"Informações Geológicas Preliminares sobre a Estrutura Vulcânica de Araguainha-MT". Ministério das Minas e Energia, DNPM. Inédito.

Spector, A. 1968 "Spectral Analysis of Aeromagnetic Data", Ph. D. Thesis, Univ. of Toronto

Spector, A., e Grant,F.S. 1970 "Statistical Models for Interpreting Aeromagnetic Data". GEOPHYSICS, V. 35, pp. 293-302

Vacquier, V., Steenland, N.C., Henderson, R.G. e Zeitz, I. 1955 "Interpretation of Aeromagnetic Maps". Geol. Society of America, Memoir 47.



ANEXO A DESCRIÇÃO DO INSTRUMENTAL DO AVIÃO

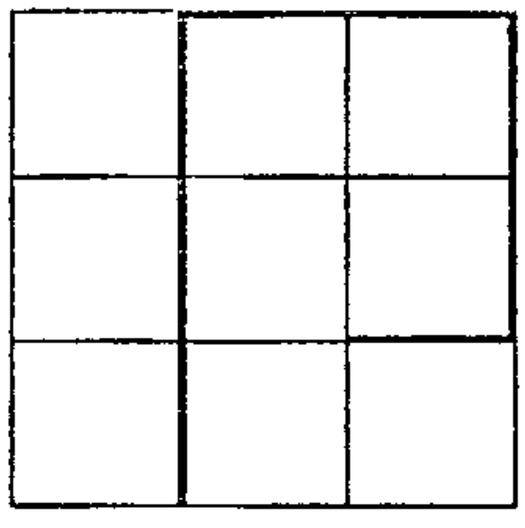
A.1 - SISTEMA ESPETROMÉTRICO E UNIDADES DE REGISTRO

O espectrometro de raios gama utilizado nêste levantamento compõe-se das seguintes unidades principais:

(1) cristal detetor: é um cristal com 6,850 cm3 (415,26 polegadas cúbicas), de NaI ativado por tálio, 29,2 cm de diâmetro e 10,2 cm de altura. O cristal é acoplado com 7 válvulas fotomultiplicadoras. Uma fonte radioativa de americium está incrustada no cristal de iodureto de sódio para proporcionar o controle da deriva do espectro, assegurando estabilização do mesmo. A radiação do americium produz um espectro de pequena amplitude mono-energético, muito mais intenso do que qualquer outro de interêsse geológico.

(2) válvulas fotomultiplicadoras: em número de sete, estão acopladas com o cristal de iodureto de sódio. Os pulsos de saída transmitidos pelas fotomultiplicadoras são amplificados numa unidade pré-amplificadora e subsequentemente conduzidos para um amplificador linear de voltagem. Quatro analisadores das alturas dos pulsos são empregados para discriminar os vários níveis de energia dos sinais recebidos.

(3) estabilização do Espectro: utilizando o sinal da voltagem referido à fonte de radiação do americium 214, utiliza-se um controle de voltagem para regular a alimentação da voltagem ao conjunto de fotomultiplicadoras, de modo a manter o foto-pico do americium centrado na



A.2

faixa de energia pré-determinada ou "janela": 4,1 MeV. Por êste modo o sistema é auto regulável para a deriva da temperatura.

O sistema espectrométrico acima descrito tem sido referido como Sistema Hamner-Harshaw: o cristal detetor foi fabricado pela Harshaw Chemical Company e a parte eletrônica montada pela Divisão de Eletrônica da Hamaner.

As seguintes medidas foram feitas com o espectrômetro utilizando-se um tempo de integração de 0,5 segundos: radiação gama na contagem total; banda de energia de 0,1 a 3,2 MeV

radiação no canal de potássio; (K 40) 1,46 MeV

radiação no canal de urânio; (Bi 214) 1,76 MeV

radiação no canal de tório; (Th 208) 2,62 MeV

As medidas de radiação na contagem total e nos canais de urânio, torio e potássio, foram registradas englobadamente na altura de vôo do avião, num gráfico analógico em um registrador de seis canais MFE, com estilete sôbre papel sensível ao calor.

A deflexão total em cada canal equivale a 50 mm, representando os seguintes valores:

0 - 305 m - no altímetro de radar

0 - 2000 cps - no canal de contagem total

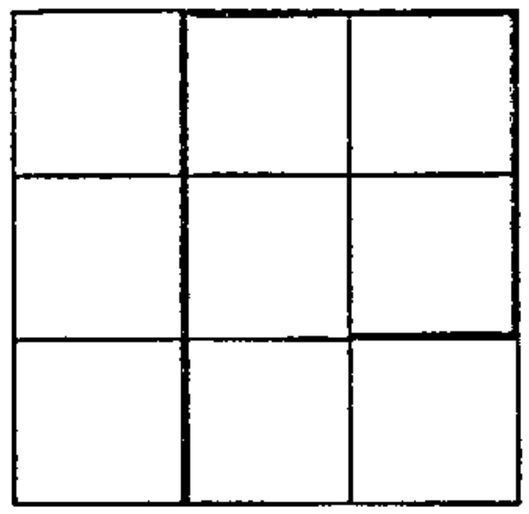
0 - 100 cps - no canal de urânio

0 - 100 cps - no canal de potássio

0 - 100 cps - no canal de tório

Circuito de Correção de Altura

Para o sistema do espetrômetro Hamner construiu-se um circuito eletrônico que permite corrigir ou reduzir as medidas de contagem total, a uma altura constante. As



A.3

variações da radiação da contagem total (CT) face às variações da altura de vôo (h) em relação a altura prê determinada de vôo (h_o) podem exprimir-se matemática-
mente, para uma fonte infinita, pela equação:

$$CT\ (h) = CT\ (ho).e^{-(h-ho)\ \mu}$$

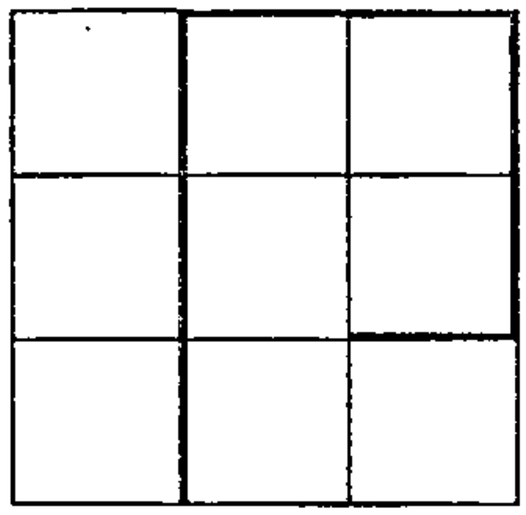
onde μ é o coeficiente de absorção atmosférica.
Quanto a altura dá aeronave se mantém dentro de limites finitos, aproximadamente h_o, isto é, h_o - 30 a h_o+ 80m, então o valor da contagem total na altura h_o, na equação acima, pode ser aproximadamente medido pela expressão linear baseada no desenvolvimento da série Taylor:

$$CT\ (h_o) \doteq CT\ (h) \quad x \quad \left[C_1 + C_2\ (h-h_o)\right]$$

O circuito eletrônico construído para permitir a normalização acima descrita, incorpora a introdução de uma voltagem limite (bias) e um ganho ou dispositivo de amplificação/atenuação para modular a voltagem da contagem total (CT).

Circuito de "Stripping" do Canal

Cada um dos emissores naturais de raios gama, isto é, torio, urânio e potássio, tem uma banda ampla de energia no espectro de raios gama, além dos seus picos principais de energia. Torna-se, por isso, necessário remover os efeitos do "spill-over" de energia do torio que afetam tanto o urânio como o potássio; do urânio que afeta o potássio, antes que se possa estabelecer a contribuição individual de cada canal. Êste processo tem sido denominado "stripping", palavra sem equivalência em português. Com base em estudos empíricos os seguintes "spill-overs" são considerados:



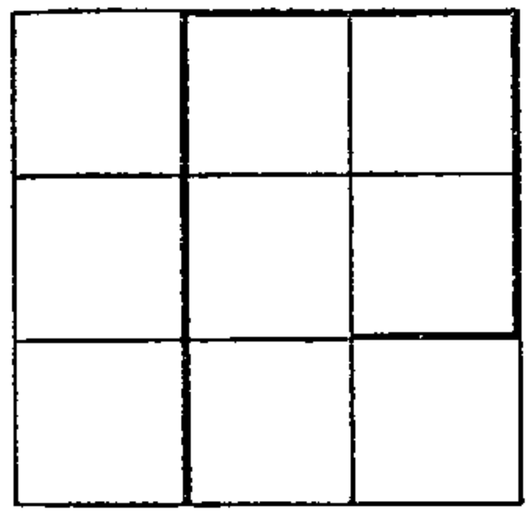
torio, contribuição ao canal de urânio : 0,45 Th_{obs}
torio, contribuição ao canal de potássio: 0,35 Th_{obs}
urânio, contribuição ao canal de potássio: 0,8 U_{obs}
Com os dados acima podemos escrever as seguintes formulas:

1. Torio: nenhuma correção ou "stripping" necessária
2. Urânio: $U=U_{obs} - o,45\ Th_{obs}$
3. Potássio: $K=K_{obs}\ (0,8\ U_{obs} + 0,01\ Th_{obs})$ $\doteqdot$ $\doteqdot K_{obs} - 0,8\ U_{obs}$

As expressões matemáticas acima foram simuladas por circuitos de "feedback stripping" para corrigir as medidas nos canais de urânio e torio com relação ao "spill-over".

A.2 - AEROMAGNETÔMETRO GULF MARK III

O sistema Gulf Mk. III é utilizado para medir as variações da intensidade do campo magnético da terra na direção do campo total. O coração do magnetômetro é um núcleo saturado "fluxgate". Uma bobina de compensação enrolada em torno do "fluxgate" é utilizada para reduzir a zero o campo ambiente que influencia o "fluxgate". A corrente elétrica necessária para produzir isto é então proporcional a intensidade do campo ambiente e portanto utilizada para medir a intensidade do campo.
A cabeça sensora do magnetômetro localizada num esporão na cauda do avião consiste de dois "fluxgate" de orientação, cujos eixos são perpendiculares entre si e um terceiro"fluxgate" medidor, que se situa num plano perpendicular ao plano que contém os "fluxgates" de orientação.
Em operação, os "fluxgates" de orientação são mantidos por servomotores em uma posição tal que anula ou mini-



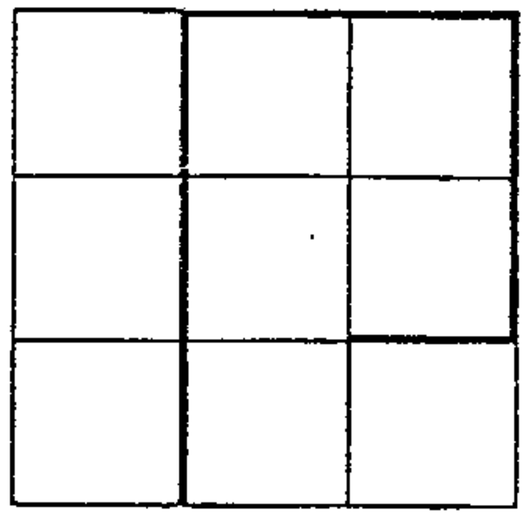
miza o campo magnético da terra, permitindo que o "flux gate" medidor tenha um rendimento máximo de operação.
As medidas do magnetômetro são registradas em forma analógica num gráfico retilíneo com largura de 25,4 cm no qual uma deflexão total tem o valor de 600 gamas.

A.3 - MONITOR DE TEMPESTADES MARK I

Êste instrumento registra as variações do campo magnético total da terra, em função do tempo, para permitir que durante suas perturbações o levantamento seja descontinuado.
O instrumento consiste de um núcleo "fluxgate saturado" orientado manualmente, montado num tripé e controlado a distância.
As medidas do monitor são registradas de modo contínuo num gráfico de forma curvilínea com largura de 11,4 cm.
A velocidade do gráfico é de 30,5 cm por hora e a deflexão abrangendo a escala total representa uma variação na intensidade magnética de 250 gamas.
Em cada hora ou quarto de hora são registradas marcas de referência por uma pena fiducial, para controle do instante do registro.

A.4 - CÂMARA DE POSIÇÃO OU RASTREO, MODÊLO CARL MARK 7

A câmara Mk 7 da CARL é um instrumento versátil, de magazine, que carrega filme de 35 mm. É capaz de disparos controlados por intervalômetro a tempo fixo, ou disparos a intervalos controlados pelo Doppler, a que correspondem distâncias fixas. Num e noutro caso os intervalos são pré-determinados.
A câmara utiliza uma lente de 90 graus de abertura, ângulo êste reduzido pela janela do chassi, de modo que a cobertura na direção do vôo se iguala a altura do mes



A.6

mo. O intervalo entre exposições é escolhido para assegurar um mínimo de 10% de superposição.

Um contador iluminado é fotografado em cada exposição, que aparece com o seu número correspondente na margem do filme.

Marcas fiduciais a que correspondem as exposições aparecem em todos os gráficos, de acôrdo com o seguinte intervalo:

1 cada chama
1 cada 5a. chapa
1 cada 10a. chapa
1 cada 9a. e 10a. chapa

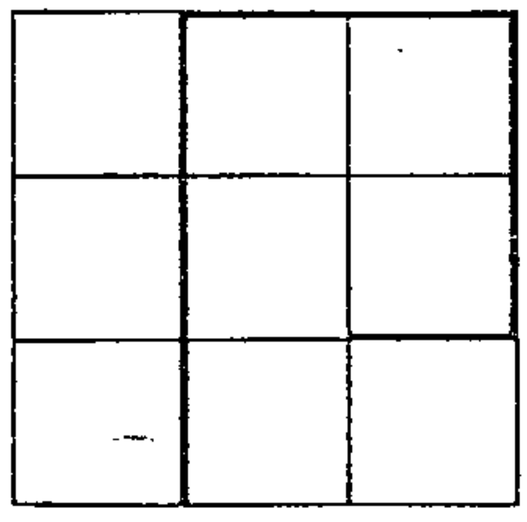
No levantamento do Projeto Alto Garças foi empregado o intervalo a que corresponde fiduciais na nona e decima chapas.

Quando se desliga a câmara ela continua trabalhando, até que ó último número no contador de exposições seja um 9. Isto garante que cada linha principia com um zero, como o último algarismo significativo no contador de exposições. Pode-se optar por inserir uma chapa em branco depois de cada desligamento da câmara, facilitando a análise do filme durante a plotação.

A.5 - O SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DOPPLER MARCONI 623

O Dopler 623 é um emissor de radar na banda-X, emitindo sinais na frequência de 8.800 MHz com uma potência de radiação de 500 miliwatts.

O sistema mede a mudança de frequência no sinal de retorno, comparando-a com a do sinal transmitido a medida que é então utilizada para conhecer-se ao longo do vôo e perpendicularmente ao mesmo a velocidade do avião sôbre o terreno.



A.7

O sistema emprega uma antena móvel, estabilizada em "pitch". A antena alinha-se automáticamente com o curso da aeronave e o ângulo entre o eixo longitudinal do avião e o eixo longitudinal da antena é o ângulo da deriva.

A mudança de frequência que se dá pelo movimento relativo terreno-avião é seguida por um oscilador de voltagem controlada. A frequência dêste oscilador é proporcional a velocidade com que o terreno se desloca por baixo do avião. Para cada nó (milha por hora) de velocidade, o sistema Doppler 623 produz uma frequência de 20,57 Hz. Por outras palavras, se o avião se desloca com uma velocidade sôbre o terreno de 150 nós"o output" do Doppler é 3.085 Hz/seg.

A velocidade sôbre o terreno é também indicada de forma convencional por uma agulha num instrumento que é capaz de registrar velocidades de 100 a 1000 nós e derivas de 0 a $\pm$ 40 graus.

Um sistema de alarme indica a perda de sinal e ativa a memória do circuito que bloqueia as indicações da última informação confiável. A memória é desativada automáticamente quando do retorno de um sinal confiável.